



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE
BOMBEO DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE OXÍGENO
ARTIFICIAL UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR PARA
PISCICULTURA DE LA FINCA “EL PORVENIR””**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: PADILLA CALLE SERGIO FABIÁN
LEMA ILGUÁN ALEX FRANKLIN
TUTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN

Riobamba – Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE BOMBEO DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE OXÍGENO ARTIFICIAL UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR PARA PISCICULTURA DE LA FINCA “EL PORVENIR””, de responsabilidad de los señores Sergio Fabián Padilla Calle y Alex Franklin Lema Ilguán, ha sido revisado de forma minuciosa por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano S. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Wilson Zúñiga V. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

“Nosotros, **SERGIO FABIÁN PADILLA CALLE Y ALEX FRANKLIN LEMA ILGUÁN**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en el trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

Sergio Fabián Padilla Calle

030258977-5

Alex Franklin Lema Ilguán

060367127-2

DEDICATORIA

A mis padres, Luis Agustín Lema Villalba y María Piedad Iguán Muñoz por enseñarme a salir adelante a no rendirme fácilmente, por brindarme su apoyo incondicional durante todo mi trayecto estudiantil y de vida. A Dios, por darme la vida, el conocimiento y las fuerzas para salir adelante y no desmayar en el camino hacia la excelencia.

Alex

Este trabajo es dedicado al esfuerzo de mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siento un apoyo en todo momento y a Dios por el don de la vida.

Fabián

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la salud y la fortaleza para lograr el éxito de los estudios de ingeniería, a nuestros padres y familiares por brindarnos su apoyo tanto moral y económicamente para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser orgullo para ellos y de toda la familia.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Facultad de Informática y Electrónica por haberme abierto las puertas para formarme como Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales por haber compartido su amistad, experiencia, conocimiento y sabiduría.

A los ingenieros Edwin Altamirano y Wilson Zuñiga por ser parte fundamental de este trabajo de titulación, por impartir sus conocimientos y experiencia, además de estar prestos para ayudarme en todo momento.

A todas las personas aquellas que nos dieron la mano desinteresadamente para poder culminar este trabajo.

**Alex
Fabián**

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN.....	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Introducción	5
1.2 La Piscicultura.....	5
1.3 Energías Renovables.....	7
1.3.1 Qué son las energías renovables.....	8
1.3.2 Fuentes de energía renovables.....	8
1.3.2.1 Energía solar.....	9
1.3.2.2 La biomasa	9
1.3.2.3 Energía Eólica	10
1.3.2.4 Energía hidráulica.....	11
1.3.2.5 Energía geotérmica.....	12

1.4	Energía Fotovoltaica.....	12
1.4.1	El Panel fotovoltaico.....	12
1.4.2	Elementos que constituyen las instalaciones fotovoltaicas de sistemas aislados	13
1.4.2.1	Panales o módulos fotovoltaicos	14
1.4.2.2	Regulador de carga	14
1.4.2.3	Acumulador eléctrico de la energía eléctrica generada	14
1.4.2.4	Inversor	14
1.4.2.5	Cableado	15
1.4.2.6	Protecciones y puesta a tierra	16
1.4.3	Aplicaciones de la energía fotovoltaica en sistemas aislados	16
1.4.4	Mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas.....	17
1.5	Automatización Industrial.....	17
1.5.1	Control Lógico Programable Arduino	18
1.5.2	Interfaz Hombre Máquina (HMI).....	19
1.5.3	Inversor VASCO Solar	20
1.5.4	Variador de frecuencias SINAMICS	21
1.6	Tarjeta Arduino Uno.....	24
1.7	Sistemas de Control.....	24
1.7.1	Sistema de control en lazo abierto.....	25
1.7.2	Sistema de control en lazo cerrado	25
1.8	Sensores	25
1.8.1	Clasificación de los Sensores	26
1.8.2	Sensor de oxígeno.....	27
1.8.3	Sensor de caudal.....	28
1.9	Actuadores Eléctricos	28
1.9.1	Motor eléctrico trifásico.....	28
1.9.2	Bomba de Agua	31

1.10	Elementos de maniobra, señalización y protección Eléctrica	31
1.10.1	Relé.....	31
1.10.2	Interruptor termo-magnético	32
1.10.3	Pulsadores	32
1.10.4	Lámparas de señalización	33
1.10.5	Conductores	34
1.10.6	Fusibles	34
1.11	Accesorios para el Proyecto.....	34

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO.....	36
2.1	Introducción	36
2.2	Fases del Diseño del Proyecto.....	37
2.2.1	Ubicación del proyecto	37
2.2.2	Dimensionamiento de la bomba	38
2.2.2.1	Cálculo de la altura manométrica	39
2.2.2.2	Determinación de las pérdidas de carga.....	40
2.2.2.3	Selección de la potencia de bomba.....	42
2.2.2.4	Operación de la Bomba.....	43
2.2.3	Montaje y alineación del eje del motor con el eje de la bomba.....	45
2.2.4	Diseño y dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico.	49
2.2.4.1	Radiación solar	50
2.2.4.2	Orientación e inclinación de los paneles solares	50
2.2.4.3	Elección del panel fotovoltaico	51
2.2.7	Dimensionamiento del Inversor trifásico NASTEC	56
2.2.8	Dimensionamiento de los conductores	58
2.2.8.1	Cálculo del conductor para la Etapa de control.....	58

2.2.8.2	Cálculo del conductor para la Etapa AC.....	59
2.2.8.3	Cálculo del conductor para la parte de DC	59
2.2.8.4	Conductores utilizados en el sistema.....	60
2.3	Implementación del Variador de Frecuencia	60
2.4	Programación del Arduino PLC.....	61
2.5	Implementación del HMI.....	64
2.6	Implementación de los Dispositivos de Control y Mando	65
2.6.1	Diagrama eléctrico del circuito de control	65
2.6.2	Armario de control	66
2.6.3	Cableado	67
2.6.4	Anclaje de la pantalla HMI	67
2.6.5	El Tablero del Control	68
2.7	Instalación del Venturi para la obtención y transferencia de oxígeno en el estanque	69

CAPÍTULO III

3	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
3.1	Introducción	73
3.2	Prueba de funcionalidad del Módulo Fotovoltaico.....	73
3.2.1	Prueba de Inclinación de los paneles solares.....	73
3.2.2	Rendimiento del Módulo Fotovoltaico Implementado	74
3.3	Pruebas del Sistema.....	75
3.3.1	Prueba de la capacidad de bombeo.....	75
3.3.2	Prueba de la Red de sensores instalados	75
3.3.2.1	Sensor de Oxígeno.....	76
3.3.2.2	Sensor de caudal.....	76
3.4	Resultados obtenidos en los factores que afectan en la crianza de las truchas.....	77
3.5	Análisis Técnico Económico del Proyecto	85

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estanques de piscicultura	5
Figura 2-1: Sistema de Bombeo por energía solar	7
Figura 3-1: Energías Renovables	8
Figura 4-1: La Biomasa.....	10
Figura 5-1: Molino de viento.....	10
Figura 6-1: Central Hidroeléctrica	11
Figura 7-1: Efecto Fotovoltaico.....	12
Figura 8-1: Panel Fotovoltaico	13
Figura 9-1: Esquema de instalación FV aislado de la red	16
Figura 10-1: Arduino PLC	19
Figura 11-1: HMI (Interfaz hombre/máquina).....	19
Figura 12-1: Inversor solar NASTEC	20
Figura 13-1: Pantalla del VASCO solar.....	21
Figura 14-1: Variador de Frecuencia SINAMICS V20.....	22
Figura 15-1: Tarjeta Arduino UNO	24
Figura 16-1: Diagrama de control en lazo cerrado.....	25
Figura 17-1: Tipos de sensores.....	26
Figura 18-1: Sensor de oxígeno Oxymag COS61.....	27
Figura 19-1: Sensor de Caudal	28
Figura 20-1: Motor eléctrico trifásico	29
Figura 21-1: Conexión estrella & triángulo.....	29
Figura 22-1: Diagrama de control y fuerza	30
Figura 23-1: Bomba Centrifuga LEO	31
Figura 24-1: Relé.....	32
Figura 25-1: Interruptor magnetotérmico.....	32
Figura 26-1: Pulsadores.....	33
Figura 27-1: Lámpara de señalización	33
Figura 28-1: Conductores	34
Figura 29-1: Fusibles	34
Figura 30-1: Caja metálica	35
Figura 31-1: Riel DIN ranurado.....	35

Figura 1-2: Ubicación del Proyecto	38
Figura 2-2: Dimensiones del estanque	38
Figura 3-2: Diseño del sistema de bombeo	39
Figura 4-2: Tabla de selección de Bombas.....	42
Figura 5-2: Bomba de agua	43
Figura 6-2: Acople de mandíbula	46
Figura 7-2: Conjunto motor bomba	46
Figura 8-2: Base de soporte para empotrar el motor y la bomba.....	47
Figura 9-2: Sistema de mantenimiento.....	47
Figura 10-2: Diseño del sistema de tubería a la salida.....	48
Figura 11-2: Sistema de acople a la entrada.....	48
Figura 12-2: Mapa de insolación directa promedio anual	49
Figura 13-2: Tipos de Radiación	50
Figura 14-2: Tipos de Radiación Inclinación del módulo fotovoltaico.....	50
Figura 15-2: Panel mono-cristalino	51
Figura 16-2: Estructura de soporte.....	54
Figura 17-2: Montaje de los paneles	55
Figura 18-2: Empotramiento del inversor	57
Figura 19-2: Diagrama de conexión del inversor	58
Figura 20-2: Diagrama de programación	62
Figura 21-2: Diagrama de la etapa de control AC y DC	62
Figura 22-2: Pantalla Principal	64
Figura 23-2: Pantalla secundaria.....	65
Figura 24-2: Diagrama eléctrico del circuito de control	66
Figura 25-2: Colocación de canaletas y riel DIN.....	66
Figura 26-2: Cableado de los elementos de control y potencia	67
Figura 27-2: Pantalla NEXTION.....	67
Figura 28-2: Vista interior del tablero.....	68
Figura 29-2: Vista exterior del tablero	68
Figura 30-2: Dimensiones para el tubo Venturi	69
Figura 31-2: Obtención del oxígeno disuelto en el agua del estanque.....	70
Figura 32-2: Implementación del Tubo Venturi	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Parámetros de Oxígeno disuelto en el agua de los estanques.	6
Tabla 2-1 Parámetros de temperatura	6
Tabla 3-1 Parámetros de pH.....	6
Tabla 4-1: Tipos de Energías Renovables.....	8
Tabla 5-1: Reparto porcentual de las energías renovables en el mundo.	9
Tabla 6-1: Ventajas y Desventajas de las Energías Eólicas	11
Tabla 7-1 Especificaciones de entradas y salidas.	18
Tabla 8-1: Características técnicas del VASCO Solar.	20
Tabla 9-1: Modo de conexión de VASCO Solar al motor	21
Tabla 10-1: Parámetros macro AP010 para bombas.....	22
Tabla 11-1 Colores para pulsadores.....	33
Tabla 1-2: Características de la línea de aspiración y succión	39
Tabla 2-2: Datos de placa de la bomba	43
Tabla 3-2: Datos de placa del motor	44
Tabla 4-2: Datos de placa del panel mono-cristalino.....	52
Tabla 5-2: Dimensiones de la estructura	55
Tabla 6-2: Tipo de inversores.....	56
Tabla 7-2: Modo de conexión del Inversor al motor.....	57
Tabla 8-2: Valores de los conductores en AC, DC y control	60
Tabla 1-3: Valores de radiación respecto a la inclinación.....	73
Tabla 2-3: Radiación solar diaria promedio	74
Tabla 3-3: Resultado de la capacidad de bombeo.....	75
Tabla 4-3: Alcance del sensor de oxígeno.....	76
Tabla 5-3: Valores del sensor en relación al caudal.....	76
Tabla 6-3: Lectura de temperatura ambiente	77
Tabla 7-3: Lectura del oxígeno disuelto en el estanque antes de la implantación del sistema	78
Tabla 8-3: Lectura del oxígeno disuelto después de la implantación del sistema	79
Tabla 9-3: Resultados prueba de hipótesis para medir el incremento de oxígeno disuelto en el estanque de truchas	81

Tabla 10-3: Lectura del pH en el agua del estanque antes de la implementación del sistema	82
Tabla 11-3: Lectura del pH en el agua del estanque después de la implementación del sistema	83
Tabla 12-3: Resultados prueba de hipótesis para medir el incremento de pH disuelto en el estanque de truchas.....	85
Tabla 13-3: Costo total para la implementación del sistema	86
Tabla 14-3: Costos generales sistema tradicional mensual.....	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Diagrama del proceso de puesto en marcha del variador de frecuencia.....	23
Gráfico 2-1: Clasificación general de los sensores	26
Gráfico 1-2: Etapas de diseño e implementación del sistema de bombeo de agua a través de energía solar.....	36
Gráfico 2-2: Método heurístico	37
Gráfico 3-2: Parámetros de configuración del variador de frecuencia.....	61
Gráfico 1-3: Rendimiento del panel solar	74
Gráfico 2-3: Variaciones de temperatura	78
Gráfico 3-3: Variaciones del oxígeno disuelto antes de la implantación del sistema	79
Gráfico 4-3: Variaciones del oxígeno disuelto después de la implantación del sistema.....	80
Gráfico 5-3: Variaciones del pH antes de la implementación del sistema	82
Gráfico 6-3: Variaciones del pH después de la implementación del sistema.....	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Distorsión nominal total (THD)	15
Ecuación 2-1: Velocidad de giro del motor trifásico	29
Ecuación 3-1: Potencia del motor trifásico	30
Ecuación 4-1: Eficiencia del motor del motor trifásico	30
Ecuación 1-2: Altura manométrica	39
Ecuación 2-2: Longitud equivalente de la tubería de entrada.....	40
Ecuación 3-2: Pérdidas de carga en la tubería de entrada	40
Ecuación 4-2: Longitud equivalente de la tubería de salida.....	41
Ecuación 5-2: Pérdidas de carga en la tubería de entrada	41
Ecuación 6-2: Altura manométrica de entrada	41
Ecuación 7-2: Altura manométrica de salida.....	41
Ecuación 8-2: Altura manométrica total	41
Ecuación. 9-2: Potencia de salida de la bomba.....	44
Ecuación. 10-2: Potencia de entrada de la bomba	44
Ecuación. 11-2: Corriente de línea de la bomba.....	45
Ecuación. 12-2: Corriente de arranque de la bomba.....	45
Ecuación. 13-2: Potencia reactiva de la bomba	45
Ecuación 14-2: Demanda de energía del motor de la bomba	53
Ecuación 15-2: Factor de paneles	53
Ecuación 16-2: Número de paneles requeridos	53
Ecuación 17-2: Generación de energía del módulo FV	53
Ecuación. 18-2: Potencia desfavorable del panel	54
Ecuación 19-2: Caída de tensión en el conductor.....	58
Ecuación 20-2: Calculo del caudal	70
Ecuación 21-2: Calculo del caudal para áreas iguales	70
Ecuación 22-2: Ecuación de Bernoulli.....	71
Ecuación 1-3: Establecimiento Hipótesis incremento del oxígeno disuelto en el agua después de implementar el proyecto.....	80

Ecuación 2-3: Establecimiento Hipótesis incremento del pH en el agua después de implementar el proyecto..... 84

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados
AC	Corriente Alterna
AWG	Calibre del alambre estadounidense
Cm	Centímetros
DC	Corriente Continua
FV	Fotovoltaico
HMI	Interfaz Hombre Máquina
I	Corriente
M	Metro
mg/L	Miligramos litro
Mm	Milímetros
NC	Contacto Cerrado
NEXTION	Lenguaje de programación para HMI
NO	Contacto Abierto
OD	Oxígeno disuelto
P	Potencia
pH	Coefficiente de grado de acidez
PLC	Control Lógico Programable
Ppm	Partes por millón
V	Voltaje
Wh	Wattios hora

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Vista general del sistema de control y mando

Anexo B: Vista frontal de la estructura de soporte para los paneles

Anexo C: Vista isométrica del Sistema de bombeo

Anexo D: Vista lateral de la estructura de soporte para los paneles

Anexo E: Dimensiones del acoplé de mandíbula L700

Anexo F: Tabla para el cálculo de pérdidas de carga en las tuberías

Anexo G: Tabla de valores de pérdidas de carga en accesorios

Anexo H: Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos KOBREX

Anexo I: Tabla de pérdidas de carga (Tuberías de PVC/Polietileno)

RESUMEN

El objetivo fue implementar un sistema automatizado de bombeo de agua para generación de oxígeno artificial utilizando energía solar para piscicultura de la finca “El Porvenir”. La investigación hace énfasis sobre el uso de la energía solar fotovoltaica por el beneficio que presenta con respecto al impacto ambiental en la reducción del CO₂, mediante la utilización de fuentes de energías renovables. Con el uso del Atlas Solar del Ecuador se realizó el análisis de radiación del sitio donde se implementó el proyecto, luego se procedió al dimensionamiento del sistema en cada uno de las etapas de implementación. Dentro de estos procesos se realizó: la orientación e inclinación del módulo fotovoltaico, dimensionamiento del inversor DC - AC, dimensionamiento de la bomba y selección de los equipos a utilizar. Con la información proporcionada por el sensor de oxígeno el arduino PLC, permitió el control del sistema aumentando o disminuyendo la potencia del motor. El sensor de oxígeno permitió monitorear la cantidad de oxígeno disuelto en el estanque. Los resultados obtenidos de la medición de oxígeno, temperatura, caudal y presión permitieron determinar la concentración de oxígeno necesario en el estanque en el valor de 6.525 ppm, garantizando la producción de oxígeno apta para la crianza de peces, logrando mejores beneficios para el sector piscicultor. Con el uso de la energía fotovoltaica como una opción para generar fuente de energía se logró eliminar el CO₂ en un 100% de forma que se contribuye a la no contaminación e impacto ambiental. Al momento de seleccionar los paneles solares se recomienda lo de tipo mono cristalinos por la mayor tasa de eficiencia y condiciones de rendimiento con respecto a las demás y su vida útil es de 25 años.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <RADIACIÓN SOLAR>, <DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN>, <MÓDULO FOTOVOLTAICO>, <SENSOR DE OXÍGENO>, <OXÍGENO DISUELTO>, <ARDUINO PLC>.

SUMMARY

The objective was to implement an automated water pumping system for artificial oxygen generation using solar energy for fish-farming of the Porvenir farm. The research emphasizes the use of photovoltaic solar energy for the benefit it presents with respect to the environmental impact in the reduction of CO₂ through the use of renewable energy sources. The radiation analysis of the place where the project was implemented has been made with the use of the Solar Atlas of Ecuador, the proceeded to sizing of the system in each one of the stages of implementation. Within these processes was carried out: the orientation and inclination of the photovoltaic module, inverter sizing of the DC-AC, sizing of the pump and selection of the equipment to be used. With the information provided by the oxygen sensor PLC Arduino that allowed to monitor the amount of temperature, flow and pressure allowed to determine the concentration of oxygen required in the pond in the value of 6,525 ppm, guaranteeing the production of oxygen suitable for fish farming, achieving better benefits for the fish breeder sector. It was possible to eliminate the CO₂ in the 100% with the uses of photovoltaic energy as an option to generate energy source so that contributes to non-pollution and environmental impact. At the time of selecting the solar panels, the mono-crystalline type is recommended for the highest efficiency rate and performance conditions compared to the others and its useful life is 25 years.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING>, <SOLAR RADIATION>, <SIZING OF THE PLACE>, <PHOTOVOLTAIC MODULE>, <OXYGEN SENSOR>, <DISSOLVED OXYGEN>, <PLC ARDUINO>.

INTRODUCCIÓN

Hoy en la actualidad las fuentes de energías renovables se han convertido en los pilares primordiales de una política energética, debido a la sustentabilidad que posee, por ello el presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar proyectos tecnológicos a base de la energía fotovoltaica, mediante la implementación de un sistema de bombeo de agua para la generación de oxígeno artificial utilizando energía solar en beneficio de la piscicultura.

De esta manera ser promotores capaces de preservar las fuentes de energía, y sin crear un ningún impacto ambiental, así también ayudando a la protección, seguridad del medio ambiente, y así asegurar la energía para las generaciones contemporáneas y futuras.

ANTECEDENTES

Las energías alternativas han tomado mayor campo dentro del ámbito empresarial e industrial, siendo una de estas el uso de energía solar las cuales se han desarrollado dentro y fuera del país. La energía solar es una mejor alternativa ya que es amigable con el medio ambiente, teniendo su principio del siglo XXI, la energía solar fotovoltaica se presenta como una de las opciones con más futuro para liderar la revolución energética que se aproxima.

Una de las formas más comunes de cultivar peces es mediante criaderos en piscícolas o estanques, por lo cual en estas piscícolas es muy importante disponer de mecanismos de producción de oxígeno, el más común y usado en la actualidad es provocando una caída de agua a la piscina. Dicho de agua se asemeja a la producción de oxígeno que encontramos en los ríos de forma natural.

Para el proceso de crianza de peces uno de los principales factores y muy importantes en su estado de crecimiento es una gran cantidad de oxígeno disuelto, en épocas de invierno por la gran cantidad de caudal en las vertientes, la cantidad de oxígeno disuelto en las piscícolas es estable.

El problema se genera cuando se presenta una disminución de caudal en la temporada de verano, provocando así la muerte de los peces debido a la reducción del nivel de oxígeno disuelto; ocasionando pérdidas económicas a los piscicultores.

Una forma de contraer el problema es bombear agua con motores de combustión (Diésel) generando gastos y contaminación ambiental al utilizar combustibles fósiles. Un factor importante a tomar en cuenta también es detectar a tiempo la pérdida de oxígeno para evitar la muerte de los peces. Con el presente trabajo de investigación se pretende automatizar el proceso mediante el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Ayudará a evitar la pérdida de producción de peces un sistema de bombeo de agua para generación de oxígeno artificial aprovechando energía solar?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma ayudará al medio ambiente la creación de oxígeno mediante energía solar para la producción de peces?

¿Se podrá controlar la cantidad de oxígeno en la piscina, mediante el sistema automatizado por el Arduino PLC?

¿Se logrará generar suficiente energía para que el funcionamiento de todo el sistema sea autosustentable?

JUSTIFICACIÓN

Con el fin de elaborar un correcto diseño e implementación del sistema de bombeo para que el sistema se adapte a las exigencias de funcionamiento, se realizará un control óptimo de la cantidad de oxígeno en el interior del estanque disponiendo de un sensor que mida la concentración del oxígeno disuelto, también se dispondrá de paneles solares para aprovechar energía procedente del sol y aprovecharla como voltaje continuo.

También se implementará un inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna utilizable para activar una bomba hidráulica de corriente alterna y así elevar la cantidad de agua requerida para generar el oxígeno necesario en caso de ser necesario.

El sistema lo controlará un Arduino PLC que es el controlador más confiable para este tipo de procesos y que trabajara en base a la información recibida de los actuadores instalados en el sistema ejecutando un programa previamente establecido. Para el monitoreo del oxígeno se utilizará sensores que determinen la cantidad de oxígeno en el estanque o piscina.

Se diseñará una interfaz HMI para el monitoreo constantemente la variable de oxígeno, con el fin de determinar el oxígeno disuelto en el interior del estanque permanece en los parámetros adecuados, dicha interfaz se encargará de dar a conocer constantemente la variable y se podrá añadir más parámetros acordes a las necesidades del usuario.

Esta investigación es una oportunidad importante ya que la implementación para generar oxígeno artificial en piscinas de criaderos de peces de la finca “El Porvenir” garantizará el cultivo de peces en épocas de sequía minimizando el factor de riesgo para los productores.

ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación abarca exclusivamente a la piscicultura de la finca “El Porvenir” del cantón Cañar, que fue base de estudio para análisis y recolección de datos de radiación solar para el dimensionamiento de la bomba. El tiempo en que fueron recolectados los datos está limitado por el cambio climático que pueda suceder a futuro.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Implementar un sistema de automatización de bombeo de agua para generación de oxígeno artificial utilizando energía solar, para piscicultura de la finca “El Porvenir”.

Objetivos Específicos:

- Estudiar las características y parámetros de cantidad de oxígeno necesario para la crianza de truchas.
- Analizar parámetros de radiación solar en la zona para la adquisición suficiente de energía con la cual funcionará el sistema.
- Diseñar e implementar el sistema de adquisición y conversión de energía para la oxigenación del agua.
- Implementar el sistema de tuberías para la creación de una cascada artificial.
- Integrar el Arduino PLC y sensores para el sistema de control de oxígeno.
- Realizar pruebas y analizar resultados para verificar el funcionamiento del sistema implementado.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Introducción

El presente capítulo constituye el estudio teórico para el desarrollo del trabajo de investigación, la base de este proyecto es la piscicultura por ello se realizó un análisis de los parámetros de oxígeno disuelto en el agua, pH y la temperatura óptima que deben tener las truchas para una buena crianza, a su vez se investigó los tipos de energías renovables enfocándose en la solar y los dispositivos que se requieren para que pueda entrar en funcionamiento el sistema automatizado.

1.2 La Piscicultura

Se considera como una de las actividades más antiguas que ha existido (2500 años D.C) en el mundo, tanto por su valor nutricional como económico. La piscicultura gracias a los avances tecnológicos ha permitido desarrollar cultivos de peces en estanques o lagos de forma artificial como se muestra en la figura 1-1, tomando en cuenta el cuidado que se debe tener con estas especies, así como la limpieza de los estanques para su crianza.



Figura 1-1: Estanques de piscicultura

Fuente: <http://cdn.laprensa.com.ni/>

Existen algunos requerimientos importantes para el cultivo de peces como es la cantidad y calidad del agua que se disponga para el cultivo piscícola, los estanques de producción deben ser construidos de tal forma que no exista filtraciones de agua garantizando la producción de microorganismos que sirven como nutriente para los peces. Los niveles de oxígeno y pH deben ser los más óptimos dentro del estante para que los peces no se mueran por falta de oxígeno y su producción eficiente.

Los rangos recomendables de oxígeno disuelto en el agua, así como de temperatura y pH son descritos en las tablas 1-1, 2-1, y 3-1 respectivamente.

Tabla 1-1: Parámetros de Oxígeno disuelto en el agua de los estanques.

O ₂ mg/l	0-3.0	3.1-4.5	4.6-5.9	6.0-8.5
Condición	Muere	Sufre grave estrés	Poco estrés Crecimiento lento	Óptimo desarrollo

Fuente: http://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf

Tabla 2-1 Parámetros de temperatura

Temperatura °C	1-3	4-8	9-14	15-17
Consecuencia	Muere	Crecimiento lento	Crecimiento óptimo Buena Incubación	Velocidad de crecimiento disminuye

Fuente: http://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf

Tabla 3-1 Parámetros de pH

pH ppm	4.0-5.0	5.1-6.5	6.6-7.9	8.0-10.0
Condición	Mucho estrés Crecimiento lento	Estrés Crecimiento lento	Óptimo desarrollo	Crecimiento Lento Mueren

Fuente: http://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf

Uno de los problemas que se ha generado y afecta de manera considerable a la actividad piscícola es la falta de agua, en temporadas de verano y sequía en donde al reducirse la cantidad de agua también el oxígeno disminuye en los estanques. Con el desarrollo tecnológico se ha dado solución a este problema implementado un sistema de bombeo de agua del mismo estanque generando así una caída artificial del agua, ya sea conectada a la red o mediante algún tipo de energía renovable como se presenta en la figura 2-1.



Figura 2-1: Sistema de Bombeo por energía solar

Fuente: http://eliseosebastian.com/wp-content/uploads/2013/11/solar_water_pump.jpg

1.3 Energías Renovables

Durante las últimas décadas se ha visto el aumento constante del consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, y la finitud de las reservas como el petróleo, son razones necesarias para buscar un gran interés en las fuentes energéticas renovables tales como molinos accionados a través del viento, navegación por mares a través de velas impulsadas a las grandes corrientes de viento entre otras. En la actualidad por existir una gran cantidad de demanda energética en el mundo, se ha visto el renacer de las energías renovables y alternativas.

El desarrollo e implementación de estos dispositivos en diversos países del mundo, han permitido evaluar la factibilidad técnica de las tecnologías asociadas al aprovechamiento y uso de las Energías Renovables para resolver los problemas energéticos globales, y, de esta forma, conseguir la tan ansiada independencia energética a la que aspiran todas las naciones del planeta. (1 p. 158)

Las energías renovables es un mundo nuevo con nuevas tecnologías hacen que sus rendimientos sean mejores, por ello se necesita un amplio conocimiento para entenderlas y desarrollarlas con eficiencia dando solución a la escases de energía que vive el mundo de ahora.

1.3.1 *Qué son las energías renovables*

Son aquellas fuentes de energía que se pueden reutilizar de nuevo y son inagotables, de forma que la energía consumida se renueva continuamente, y en consecuencia su utilización es ilimitada, las energías renovables como las que se muestran en la figura 3-1 se presentan hoy en día como una alternativa frente a las energías convencionales, teniendo una amplia aceptación posee ventajas como son: están en la naturaleza, son gratuitas y se pueden obtener en lugar remotos donde la energía no llega. En la figura 3.1 se muestran algunos tipos de energías renovables.



Figura 3-1: Energías Renovables

Fuente: <http://www.dforcesolar.com/wp-content/uploads/2014/07/images.jpg>

1.3.2 *Fuentes de energía renovables*

Las energías renovables se clasifican de acuerdo a sus características de procedencia, obtención y utilización como se muestra en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Tipos de Energías Renovables

Fuente de energía	Procedencia
Solar (térmica)	Calor del sol
Geotérmica	Calor de la corteza terrestre de la tierra
Hidráulica	Agua de los ríos
Eólica	La fuerza del viento
Undimotriz	Olas del mar.

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla 2017

Alrededor del mundo se utilizan diferentes tipos de energías renovables teniendo así una presencia porcentual de cada uno de los tipos como se muestra en la tabla 5-1.

Tabla 5-1: Reparto porcentual de las energías renovables en el mundo.

Energías renovables	Porcentaje (%)
Biomasa	2,9%
Eólica	1,9%
Hidráulica	1,4%
RSU	0,5%
Biocombustibles	0,4%
Biogás	0,2%
Fotovoltaica	0,2%
Solar térmica	0,1%
Geotérmica	0,01%
Solar termoeléctrica	0,004%

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

1.3.2.1 Energía solar

Es procedente de la radiación solar, que tiene una potencia estimada de 1000 W/m^2 es una energía electromagnética y es la principal fuente de energía sobre la tierra, si se llegare a aprovechar el 0.002% se podría satisfacer la demanda energética del mundo. La energía solar puede transportarse en eléctrica directamente, mediante células fotovoltaicas o de forma indirecta a través de sistemas térmicos de concentración, utilizados para producir el vapor que mueve las turbinas generadoras.

Sin embargo, su utilización tiene serias dificultades por su estacionalidad, su alternancia día-noche, su dependencia de otras condiciones atmosféricas, su baja densidad y en muchas aplicaciones su coste, que dista aun ser competitivo con los combustibles fósiles.

1.3.2.2 La biomasa

Son todas aquellas materias orgánicas renovables como plantas verdes, desechos urbanos que absorben la energía solar y luego la almacena, es utilizada mediante diferentes procesos como es la combustión, calentamiento de sistemas de calefacción, entre otros.

En la actualidad la biomasa es utilizada para producir biocombustible. Existen varios tipos de biomasa como se muestra en la figura 4-1 entre ellas se tiene:

- Natural producida por la naturaleza, sin la mano del hombre.
- Seca que son aquellos productos sólidos tales como forestales, maderas, entre otros.
- Biocarburantes es el reciclado de aceites.
- Residual húmeda.



Figura 4-1: La Biomasa

Fuente: http://www.bioalaune.com/sites/default/files/la_biomasse_pourrait_bien_relever_le_defi_du_siecle.jpg

1.3.2.3 Energía Eólica

En la actualidad la energía eólica observada en la figura 5-1, está por muy encima de la energía hidráulica porque genera menor impacto ambiental. Denominada una de las primeras formas de energía renovable más productiva, genera energía cinética por las corrientes de aire, donde los aeromotores instalados en los molinos de vientos transforman la energía eólica en energía mecánica, para producir energía eléctrica o accionar una máquina.



Figura 5-1: Molino de viento

Fuente: <http://static4.elblogverde.com/wp-content/uploads/2015/02/aerogeneradores-eolicos-600x397.jpg>

La energía eólica presenta algunas ventajas, así como desventajas las cuales son mostradas en la tabla 6-1.

Tabla 6-1: Ventajas y Desventajas de las Energías Eólicas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Energía renovable y gratuita	Almacenamiento imposible
Instalación rápida	Variabilidad
Energía limpia	Huecos de tensión
Inclusión a una red eléctrica	Ocupan gran espacio

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla 2017

1.3.2.4 Energía hidráulica

Es una energía limpia, libre de contaminación por lo que ayuda al equilibrio sostenible del medio ambiente, se basa en la transformación de la energía cinética en energía eléctrica o mecánica, esta energía representa la fuerza del agua el campo de gravedad que esta genera al momento de que su energía potencia, como se muestra en la figura 6-1.



Figura 6-1: Central Hidroeléctrica

Fuente: <http://files.energiahidraulica.webnode.es/>

En la actualidad el Ecuador es uno de los promotores del uso de la energía hidroeléctrica, en los últimos años se ha creado centrales hidroeléctricas como es la central hidroeléctrica Paute, Mandariacu, y Coca Codo Sinclair para cubrir la demanda energética que tiene el país.

1.3.2.5 Energía geotérmica

Es una energía renovable muy poca utilizada ya que se debe extraer de la corteza de la tierra, esta energía almacenada en la corteza terrestre es transformada en calor para uso en industrias.

La utilización de energías renovables tiene un volumen muy pequeño de aportación global de la energía total consumida. El 20% de la electricidad generada en el mundo tiene su origen en fuentes de energía renovable, y de esta, el 90% es de origen hidráulico. (José Roldan Vilorio)

1.4 Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica tiene su origen en la luz solar, que puede ser transformada en energía eléctrica por medio de células fotoeléctricas, o conocido como efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico se define a la aparición de la corriente eléctrica en ciertos materiales cuando estos se ven iluminados por radiación electromagnética sin la necesidad de algún elemento mecánico o físico, la electricidad generada por los paneles solares es una de las aplicaciones del efecto fotoeléctrico como se observa en la figura 7-1.

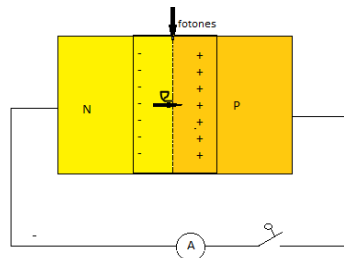


Figura 7-1: Efecto Fotovoltaico
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

1.4.1 El Panel fotovoltaico

Transforma la energía proveniente del sol en energía eléctrica, estos paneles fotovoltaicos están constituidos por células fotovoltaicas construidas con cristales de silicio de material semiconductor (P Y N) que se utiliza para mejorar la conductividad eléctrica en el panel.

El silicio es un semiconductor de estructura cubica, los paneles fotovoltaicos son de estructura sólida y manejable, la salida de voltaje y corriente depende proporcionalmente del semiconductor utilizado. En la figura 8-1 se puede apreciar el panel solar.



Figura 8-1: Panel Fotovoltaico

Fuente: <http://astation.ru/upload/medialibrary/dbb/dbbd98e18c4c6aa9929d3981b78108d0.jpg>

El frente del panel tiene un vidrio templado resístete al impacto que protege a las células contra los agentes meteorológicos y los golpes, el vidrio usado tiene un bajo contenido de plomo, para no reducir la transmitividad de la luz a través del mismo.

El panel solar tiene un marco metálico de aluminio que evita la oxidación del mismo y la base donde se lo coloca, este marco viene pre-perforado, haciendo innecesario el uso de máquinas de perforar, lo que evita el riesgo de dañar accidentalmente el panel FV. En la parte posterior se encuentra los contactos eléctricos, tanto como los agujeros laterales están diseñados para brindar protección ambiental y permitir un anclado mecánico para los cables de conexión, dentro de la caja se hallan dos terminales como son el positivo y el negativo.

1.4.2 Elementos que constituyen las instalaciones fotovoltaicas de sistemas aislados

Todas las instalaciones para sistemas aislados deben garantizar la seguridad de las personas frente a contactos directos e indirectos. Las instalaciones fotovoltaicas incluyen diferentes elementos complementarios para controlar circuitos, almacenar energía y suministrarla a la utilización.

1.4.2.1 *Panales o módulos fotovoltaicos*

Son dispositivos generadores de energía eléctrica que generan corriente continua (CC).

1.4.2.2 *Regulador de carga*

Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas. Las características esenciales de los reguladores de carga son:

- El voltaje de desconexión de las cargas de consumo, que es el valor de tensión de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a las cargas de consumo.
- El voltaje final de la carga, que es el valor de la tensión de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador FV y la batería o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador FV.

1.4.2.3 *Acumulador eléctrico de la energía eléctrica generada*

En toda instalación aislada es necesaria la presencia de un acumulador, que se define como una asociación eléctrica de baterías. La batería es una fuente de tensión continua formada por un conjunto de vasos electroquímicos interconectados, para ello se debe tomar en cuenta:

- La tensión de operación
- El estado de carga.
- La capacidad útil.
- La capacidad nominal.
- La autodescarga.
- El régimen de carga y descarga.

1.4.2.4 *Inversor*

Convierte la corriente continua en corriente alterna, tiene como características:

- V_{rms} : Valor eficaz de la tensión alterna de salida.

- La potencia nominal: Potencia máxima, especificada por los fabricantes, que el inversor es capaz de entregar de forma continua.
- La capacidad de sobrecarga: Habilidad del inversor que entrega mayor potencia que la nominal durante ciertos intervalos de tiempo.
- El rendimiento del inversor: Relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada de inversor. Depende de la potencia de operación.
- Factor de potencia: Cociente entre la potencia activa (W) y la potencia aparente (VA) a la salida del inversor.
- Distorsión nominal total: THD (%). Parámetro utilizado para indicar el contenido armónico de la onda de tensión de salida y está definido por la ecuación 1-1:

Ecuación 1-1: Distorsión nominal total (THD).

$$THD(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} V_n^2}}{V_1}$$

Donde:

V_1 es el armónico fundamental

V_n el armónico n – ésimo.

1.4.2.5 Cableado

Todo el cableado debe cumplir con las normas establecidas, con una sección adecuada para reducir las caídas de tensión y que puedan calentarse con el paso de energía por lo cual se considera los valores especificados para corriente continua:

- Caídas de tensión máxima entre generador y regulador/inversor: 3%
- Caída de tensión máxima entre regulador y batería: 1%
- Caída de tensión máxima entre inversor/regulador y cargas: 3%
- Caída de tensión máxima entre regulador e inversor: 1%
- Caída de tensión máxima entre inversor y batería: 1%

Los cables para positivo y negativo en corriente continua dentro de la instalación se conducirán por separado, protegidos y señalizados (código de colores, etiquetas, etc.) de acuerdo con la normativa, así como los cables exteriores también estarán protegidos ante la intemperie.

1.4.2.6 Protecciones y puesta a tierra

Las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48 V cuentan con una toma de tierra a la que están conectadas el soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos, protegiendo a las personas frente a contactos directos e indirectos. Para la implementación del proyecto el sistema debe estar protegido contra cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones mediante un fusible, un disyuntor magnetotérmico u otro elemento que cumpla con esta función. (2).

En la figura 9-1 se puede observar la configuración que está compuesta por paneles, el sistema de regulación, los acumuladores, el convertidor de corriente continua / corriente alterna, conectados a la carga de corriente alterna.

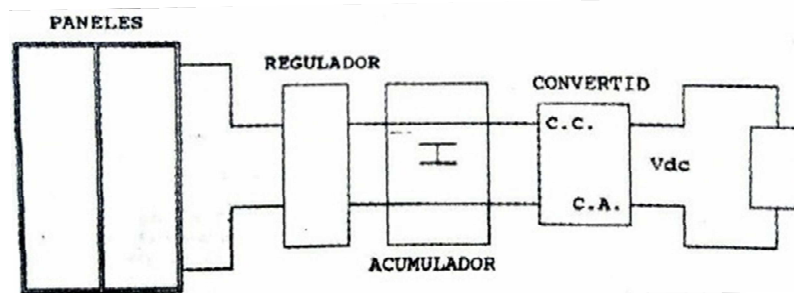


Figura 9-1: Esquema de instalación FV aislado de la red
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

1.4.3 Aplicaciones de la energía fotovoltaica en sistemas aislados

Existen varias aplicaciones de la energía fotovoltaica para sistemas aislados entre las cuales se tienen:

- Instalación de primer nivel de electrificación de vivienda y locales: alimentación de electrodomésticos y equipos de corriente continua.
- Instalaciones de segundo nivel de electrificación de viviendas. En este concepto se incluye las instalaciones para iluminación de viviendas, locales.
- Electrificación centralizada de grupo de viviendas.
- Electrificación de exploraciones agrícolas y ganaderas. En este concepto se incluyen instalaciones para eliminación y accionamientos de equipos de CC y CA.

- Instalaciones de bombeo de agua.
- Instalaciones para la iluminación de exteriores.
- Instalaciones para señalización.
- Instalaciones para telecomunicaciones
- Instalaciones de telemetría y telecontrol.
- Instalaciones para aplicaciones industriales.
- Instalaciones recreativas.

La energía fotovoltaica tiene varias aplicaciones en varios campos, que son las aplicaciones como pequeños generadores, sensores, detectores e interruptores. En la actualidad las células fotovoltaicas reaccionan ante la luz visible, así también ante rayos infrarrojos, ultravioletas y laser (2).

1.4.4 *Mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas*

Los paneles tienen una vida útil mayor a los 30 años, pero sin embargo es necesario tener un cuidado adecuado asegurando un funcionamiento óptimo, para obtener un máximo rendimiento y prolongar su vida útil, para ello se debe realizar un mantenimiento preventivo y un mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo implicara, una revisión anual, limpieza periódica de los paneles, controlar el estado del soporte, revisión de cableado, conexiones, pletinas, terminales; verificar los elementos de seguridad y protecciones, chequear los acumuladores el nivel del electrolito. El mantenimiento correctivo es aquello que relacionen todas las operaciones de emergencia que aseguren el buen funcionamiento del sistema. Estos mantenimientos se deben realizar por personas técnicas o que hayan sido capacitadas en el área, que puedan cuantificar y dar solución en caso de presentarse alguna falla. (2).

1.5 Automatización Industrial

La automatización hoy en día se ha convertido en una de las soluciones más rentables y confiables, a los problemas al momento de ejecutar y controlar los procesos. Para el presente proyecto se realizó la se automatización del sistema de bombeo de agua, a través de sensores, actuadores y dispositivos que permita que el proceso de bombeo se ejecute de manera confiable.

1.5.1 Control Lógico Programable Arduino

Es un dispositivo para el almacenamiento de instrucciones las cuales realizan funciones específicas como: control de tiempos, registros, lógica, secuenciación, conteo y operaciones aritméticas, las cuales permiten el control de varios tipos de máquinas o procesos, mediante la operación de entradas/salida tanto digital como analógica. Los PLC's funcionan en forma secuencial y cíclica, lo que quiere decir que, una vez terminado el recorrido completo de cualquier programa, comienza con la aplicación de la primera instrucción (3).

El PLC basado en Arduino es un dispositivo diseñado para proyectos de control industrial, que permiten la sencillez y la facilidad de programar, monitorear de datos de entrada/salida y controlar diferentes dispositivos como en este caso motores o bombas. La tabla 7-1 muestra las especificaciones de las entradas y salidas del Arduino PLC.

Tabla 7-1 Especificaciones de entradas y salidas.

(6x)	Entradas Digitales(5-12-24Vcc)/Analógicas(0-10Vcc)
(5x)	Entrada Digital PNP
(2x)	Entrada Interrupción Digital
(3x))	Salidas Digitales/Analógicas PWM
(5x))	Salida digital PNP
(1x)	Puerto Ethernet
(1x)	Puerto USB
(1x)	Puerto I2C
(4x)	Puerto serial

(1x) Mod Bus

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

La figura 10-1 muestra el Arduino PLC con el que se trabajó en el proyecto.



Figura 10-1: Arduino PLC
Fuente: <http://www.industrialshields.com/>

1.5.2 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Es un dispositivo electrónico que sirve de interfaz gráfica entre hombre y la máquina, conocido por sus siglas en inglés HMI, son dispositivos que permiten visualizar los datos y resultados del proceso en ejecución, hoy en día existen dispositivos con pantallas táctiles que permiten al usuario u operario manipular, corregir y alterar datos enviados por el microcontrolador tal como se aprecia en la figura 11-1.



Figura 11-1: HMI (Interfaz hombre/máquina)
Fuente: <http://4.imimg.com/data4/AX/RL/MY-3069658/>

El HMI posee algunas características principales que le permite mostrar el proceso en tiempo real, la posibilidad de ajustar a las circunstancias de trabajo, reportar anomalías en el proceso y almacenar datos del sistema. La función principal del HMI es: monitoreo, control, históricos, alarmas y supervisión.

1.5.3 Inversor VASCO Solar

Es un dispositivo variador de frecuencia, tiene la capacidad de convertir la corriente continua proveniente de los sistemas fotovoltaicos en corriente alterna, ofreciendo un amplio campo de aplicaciones referentes a los sistemas de bombeo. El vasco solar que muestra en la figura 12-1 tiene la facilidad de adaptarse a diferentes tipos de bomba, también brinda protección en caso de cortocircuito o sobrecargas.



Figura 12-1: Inversor solar NASTEC
Fuente: http://www.nastec.eu/files/manVASCO_Solar_esp_03.pdf

La tabla 8-1 muestra las características técnicas del VASCO solar NASTEC.

Tabla 8-1: Características técnicas del VASCO Solar.

Modelo	Vin	Vin P1 nom	Max Vout	Max I out	P2 típica motor		Talla
	[VDC]	[VDC]	[VAC]	[A]	[VAC]	[kW]	
VASCO Solar 212	120-650	>320	3x230	12	3x230	2,2	1

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Al momento de instalar y utilizar el dispositivo se debe revisar el manual de instrucciones ya que el mal uso puede ocasionar graves shocks eléctricos para lo cual se implementará la señalética de seguridad referente a riesgos eléctricos. La tabla 9-1 muestra el modo de conexión del VASCO solar.

Tabla 9-1: Modo de conexión de VASCO Solar al motor

Alimentación DC:	Salida de motor:	Alimentación ventiladores auxiliares 12 Vdc
LINE: L1, L3	MOTOR: U, V, W	VENT: +, -
Utilizar cables con conectores	Utilizar cables con conectores	NOTA: Respetar la polaridad

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Otra de las ventajas que del VASCO Solar es que se puede conectar dos sensores de presión de 4 a 20 mA de tensión a 15 VDC. La programación es sumamente simple a pesar de la cantidad de parámetros que maneja, cuenta con una pantalla retroalimentada para la fácil visualización como se muestra en la figura 13-3.

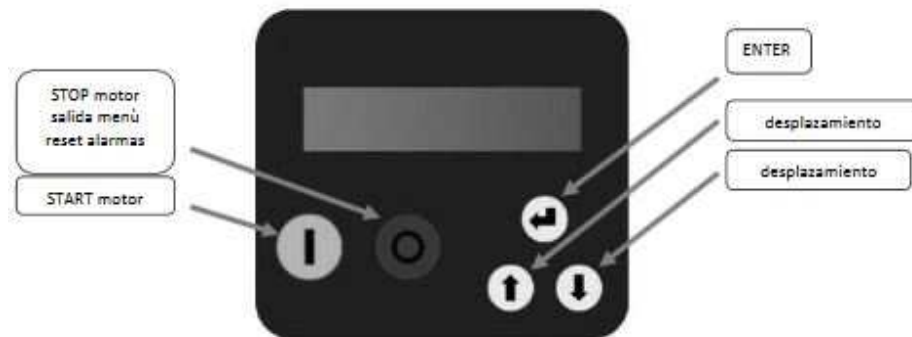


Figura 13-1: Pantalla del VASCO solar
Fuente: Manual de instrucciones VASCO Solar

1.5.4 Variador de frecuencias SINAMICS

Los variadores de frecuencia o drive CA son dispositivos electrónicos que permiten controlar la velocidad de los motores asíncronos trifásicos en corriente alterna. Estos dispositivos trabajan transformando la corriente alterna en frecuencia (corriente trifásica) o en tensión variable, los

variadores de frecuencia. La figura 14-1 muestra el variador de frecuencia SINAMICS utilizado en el proyecto.



Figura 14-1: Variador de Frecuencia SINAMICS V20
Fuente: <http://editores-srl.com.ar/sites/default/files/modulos/5-33%20Siemens.jpg>

Hoy en día son utilizados para bombas de agua, ya que gracias a sus características permiten el ahorro de energía, no generar puntas de arranques y garantiza una larga vida útil.

Para el caso de la implementación de un sistema de bombeo de agua es necesario configurar y adecuar el macro de aplicaciones AP010 específicamente para bomba centrífuga, para evitar que funciones a bajas velocidades y el reinicio automático. Los parámetros que se deben configurar se muestran en la tabla 10-1:

Tabla 10-1: Parámetros macro AP010 para bombas

Parámetros	Descripción	Valores de fabrica	Valores para AP010
P1080[0]	Mínima frecuencia	0	15
P1300[0]	Modo de control	0	7
P1110[0]	BI: inhibir frecuencia negativa.	0	1
P1210[0]	Reinicio automático	1	2
P1120[0]	Tiempo de subida	10	10
P1121[0]	Tiempo de bajada	10	10

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla 2017

El grafico 1-1 muestra el Diagrama de la puesta en marcha básica del variador de frecuencia.



Gráfico 1-1: Diagrama del proceso de puesto en marcha del variador de frecuencia
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla 2017

Se debe tener muy en cuenta para aplicaciones como el sistema de bombeo el tipo de carga, el tipo de motor y los rangos de funcionamiento, así también se recomienda una debida protección que garantice la seguridad para el operador.

1.6 Tarjeta Arduino Uno

Arduino es considerada una de las plataformas de open hardware, porque su distribución, utilización es de forma libre y gratuita, establecido por el microcontrolador AT mega328 tiene 14 entradas digitales y 6 analógicas que sirven como entrada o salida de datos, posee también una conexión serial para recibir y transmitir datos (RX, TX). La figura 15-1 muestra la tarjeta Arduino UNO.



Figura 15-1: Tarjeta Arduino UNO

Fuente: <http://www.arduino.org/media/k2/galleries/90/A000066-Arduino-Uno-TH-2tri.jpg>

La programación en esta plataforma es simple ya que divide la ejecución en dos partes: Setup incluye las variables declaradas y loop ejecuta el código leyendo entrada y salida de datos.

Las características de la tarjeta Arduino son:

- RX y TX transmisores de señal TTL
- 5V voltaje de operación
- Frecuencia de reloj 16MHz
- 3, 5, 6, 9, 10 y 11 salidas PWM
- Corriente en el pin 3.3V 50mA

1.7 Sistemas de Control

Los sistemas de control tienen como finalidad principal garantizar la estabilidad del sistema, hacia las perturbaciones que se generen en el proceso, mediante la manipulación de sensores y actuadores.

Existen métodos de control en lazo abierto y lazo cerrado el presente proyecto se ha utilizado el sistema de control en lazo cerrado.

1.7.1 Sistema de control en lazo abierto

Este proceso de control en lazo abierto trabaja dependiendo de las variables de entrada, sin corregir los errores que se presentan en el sistema.

1.7.2 Sistema de control en lazo cerrado

El sistema de control en lazo cerrado trabaja con valores de entrada y salida, ya que el sistema presenta una retroalimentación en la cual se puede comparar los valores de salida y entrada con la que se desea obtener, si no es el valor deseado realiza una acción de control para corregirlo automáticamente.

Hoy en día este tipo de controladores son los más usados, en la figura 16-1 se muestra el diagrama de control en lazo cerrado.

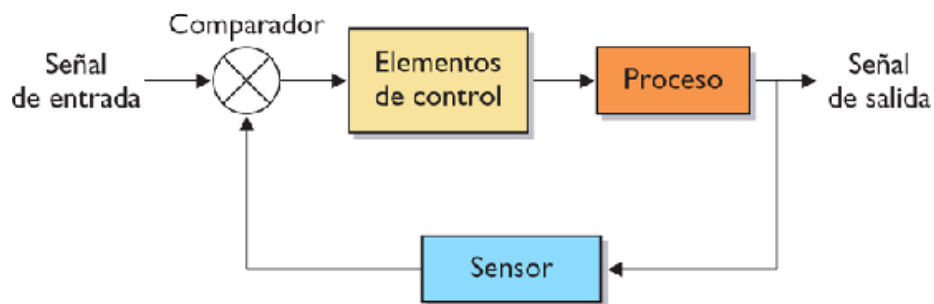


Figura 16-1: Diagrama de control en lazo cerrado
Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/>

1.8 Sensores

Los sensores o transductores son dispositivos que transforman una cantidad física de entrada en otra de salida equivalente (4 p. 47), la salida de un fenómeno físico captado por un sensor da como resultado una señal eléctrica que puede ser voltaje o corriente.

En la figura 17-1 se puede ver la variedad de sensores que existen entre: mecánicos, ultrasónicos, inductivos, capacitivos y fotoeléctricos.



Figura 17-1: Tipos de sensores
Fuente: <http://www.hdcontrolsac.com/>

1.8.1 Clasificación de los Sensores

Los sensores se clasifican según su naturaleza, como se puede observar en el gráfico 2-1.

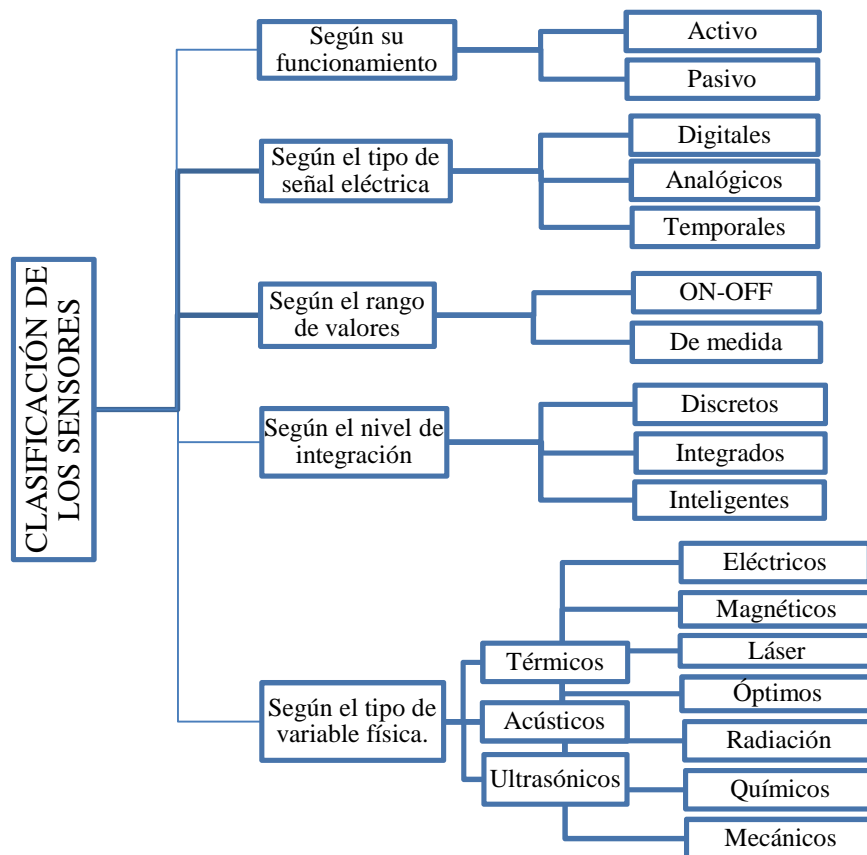


Gráfico 2-1: Clasificación general de los sensores
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

1.8.2 Sensor de oxígeno

Oxymax COS61 es un sensor idóneo para medir la concentración de oxígeno disuelto en el interior de estanque, ríos o lagos, de manera precisa y rápida sin interferencias, garantizando una medición confiable.

El sensor Oxymag tiene un rango de medición de 0mg/l – 20mg/l y de presión 10bar máximo. Esta construido por un tubo de acero inoxidable de diámetro 40mm, temperaturas de proceso de -5°C - 60°C.

En la figura 18-1 se puede apreciar el sensor de oxígeno Oxymag COS61.



Figura 18-1: Sensor de oxígeno Oxymag COS61
Fuente: <http://www.mx.endress.com>

El sensor Oxymag tiene una variedad de ventajas y aplicaciones como son:

- Mantenimiento reducido
- Disponibilidad
- En procesos de monitoreo es rápida.
- No maniobra electrolitos.
- La facilidad de cambio.
- Control de O₂ en estaquen de piscicultura.
- Para monitoreo de plantas de aguas residuales
- Monitoreo de agua potables
- Monitoreo de tratamientos biológicos.

1.8.3 *Sensor de caudal*

El principio de funcionamiento del sensor de caudal es igual a los sensores capacitivos utilizados para medir papel, vidrio, madera, aceite, agua y demás. El sensor de caudal presentado en la figura 19-1 medir la cantidad de líquido que atraviesa por el ducto. Por lo general este tipo de sensores incluyen etapas de acondicionamientos para normalizar las señales en digitales de 0 a 10 voltios.



Figura 19-1: Sensor de Caudal
Fuente: <http://www.pce-iberica.es/>

1.9 **Actuadores Eléctricos**

Dentro de los actuadores eléctricos que se utilizarán en el proyecto de investigación se tiene el motor eléctrico trifásico y la bomba de agua que a continuación son detallados.

1.9.1 *Motor eléctrico trifásico*

Son máquinas eléctricas construidas por tres bobinados independientes desfasados en 120°, el principio de funcionamiento de estos motores es por acción del campo magnético giratorio creado en el estator, existen dos tipos de motores trifásicos como son: el motor jaula de ardilla que es el más utilizado por su bajo costo en el mercado, alto grado de protección, garantizan un funcionamiento seguro, y el motor que tiene rotor bobinado. En la figura 20-1 se presenta un motor eléctrico trifásico.



Figura 20-1: Motor eléctrico trifásico
Fuente: <http://www.hechoxnosotrosmismos.net/>

Una de las desventajas que presenta el motor con jaula de ardilla es que al momento del arranque consumen una elevada intensidad de tensión a la del funcionamiento. Los motores trifásicos se pueden conectar en configuración estrella en voltaje nominal de 400 V o triángulo en voltajes de 230 V, como se muestra en la figura 21-1.

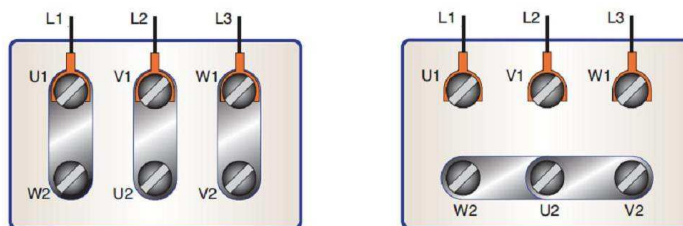


Figura 21-1: Conexión estrella & triángulo
Fuente: <https://automatismoindustrial.files.wordpress.com/2012/10/imagen1.jpg>

La velocidad de giro, potencia, eficiencia de este tipo de motores se determine en base a las ecuaciones 2-1, 3-1,y 4-1:

Ecuación 2-1: Velocidad de giro del motor trifásico

$$n = \frac{60 * f}{p}$$

Donde:

n = Velocidad de giro en rpm.

f = frecuencia.

p = Numero de pares de polos del estator.

Ecuación 3-1: Potencia del motor trifásico

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos}\theta$$

Donde:

P = Potencia del motor en kW.

V = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

$\text{COS } \theta$ = Factor de potencia.

Ecuación 4-1: Eficiencia del motor del motor trifásico

$$\eta = \frac{Ps}{Pe}$$

Donde:

η = Eficiencia

Ps = Potencia de salida.

Pe = Potencia de entrada.

En la figura 22-1 se puede apreciar los diagramas de control y de fuerza [ara la conexión del motor trifásico:

Diagrama de control

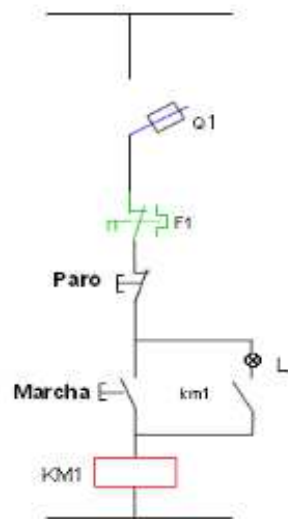


Diagrama de fuerza

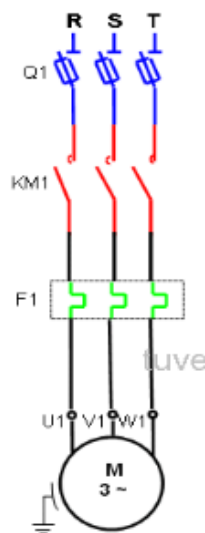


Figura 22-1: Diagrama de control y fuerza
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Al momento de seleccionar un motor se debe tomar ciertas consideraciones, el tipo de carga que se desea controlar, el voltaje de la red, la potencia y la velocidad de giro. Este tipo de motores deben tener sus debidas protecciones para sobrecargas y cortocircuitos.

1.9.2 Bomba de Agua

Estos dispositivos transforman la energía mecánica en hidráulica. Este tipo de bombas son utilizadas para sistemas de bombeo de agua, tales como bombas para retrolavado, para sistemas de distribución, para pozos y demás aplicaciones. Para el proyecto se ha utilizado una bomba centrífuga de un solo impulsor giratorio, la cual se puede observar en la figura 23-1.



Figura 23-1: Bomba Centrífuga LEO

Fuente: <http://www.pemco.com.pa/images/products/10626.jpg>

1.10 Elementos de maniobra, señalización y protección Eléctrica

Entre los elementos de maniobra implantados en el proyecto se tienen los pulsadores, para la señalización se instalaron lámparas las cuales alertan cuando el sistema está activado o si se tiene algún problema en su funcionalidad, entre los elementos de protección con los que cuenta el sistema se tienen relés, interruptores termo-magnéticos, los cuales son detallados a continuación.

1.10.1 Relé

El relé mostrado en la figura 24-1, es un componente que funciona como interruptor el cual se conecta mediante un electroimán. Así estos componentes son interruptores automáticos, el cual es susceptible para la realización de una variedad de combinaciones, por lo tanto, sus aplicaciones son múltiples.



Figura 24-1: Relé
Fuente: <http://www.ndu>

1.10.2 Interruptor termo-magnético

Es un dispositivo electrónico que sirve de protección denominado también como llave térmica, consta de dos partes: la térmica para sobrecargas y la magnética para cortocircuitos. En caso de existir un suceso los dos eventos al mismo tiempo (sobrecarga/cortocircuito) se debe cerrar manualmente, otra de las consideraciones que se debe conocer es que la función del dispositivo es proteger los conductores mas no la carga, por ello es necesario conocer el tipo de conductor para calcular el interruptor termo-magnético como el que se muestra en la figura 25-1.



Figura 25-1: Interruptor magnetotérmico
Fuente: <https://sstt.wikispaces.com>

1.10.3 Pulsadores

Son elementos de mando manual que permiten conectar y desconectar, mecanismos, sistemas o maquinas eléctricas, ejemplo un motor, existen pulsadores normalmente abiertos, normalmente cerrados (NA/NC), en la figura 26-1 se puede observar el tipo de pulsadores que se implementaron en el tablero de control.



Figura 26-1: Pulsadores
 Fuente: <http://www.monterosa.com.ar/>

1.10.4 Lámparas de señalización

Son dispositivos electrónicos que permiten visualizar o indicar al operario, el ciclo de trabajo, así también falla o anomalías que se presenten en el proceso. Estos dispositivos tienen una variedad de colores que indican al operario que medidas realizar, en la figura 27-1 se presenta la lámpara de señalización.



Figura 27-1: Lámpara de señalización
 Fuente: <http://tecnologiaelectron.blogspot.com/>

La tabla 11-1 muestra las características principales de cada color:

Tabla 11-1 Colores para pulsadores

Rojo	Verde/Negro	Amarillo	Blanco/Azul
Parada/desconexión Parada de uno o varios motores. Para en caso de peligro Parada por exceso de calor.	Marcha Conexión Arranque de uno o varios motores.	Marcha en retroceso.	Mando de funciones auxiliares. Desenclavamiento de relés

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

1.10.5 Conductores

Un conductor eléctrico es un elemento que permite la circulación del flujo de corriente, generalmente son de cobre y aluminio, el conductor está constituido por el alma del conductor, aislante y la capa de protección. Para el proyecto en general se usó cable número 10 AWG, además a los conductores como los que se muestran en la figura 28-1 se les puede identificar por su color, el cable color negro para neutro y el cable rojo para la fase.



Figura 28-1: Conductores

Fuente: <http://electrica.mx/images/rev57/conociendo1-57.jpg>

1.10.6 Fusibles

Son elementos de protección para circuitos eléctricos de baja y alta tensión, su función principal es el corte de corriente en casos de cortocircuitos y sobrecargas. Las ventajas que presta son alta fiabilidad, elevada capacidad de interrupción de 120kA y seguridad reforzada, estos fusibles son más usados a nivel industrial, la figura 29-1 los fusibles.



Figura 29-1: Fusibles

Fuente: <http://www.tme.eu/>

1.11 Accesorios para el Proyecto

Como accesorios del proyecto para la construcción del tablero de control se tienen: la caja metálica y el riel DIN ranurado.

1.11.1 Caja metálica

Esta constituido por una caja metálica como se puede observar en la figura 30-1, donde se albergan todos los dispositivos para el control, monitoreo y seguimiento al sistema o proceso. Dentro del tablero se encuentran dispositivos tales como; PLC, bobinas, relés, contactores, HMI, contactos NA/NC, pulsadores selectores, temporizadores y demás.



Figura 30-1: Caja metálica
Fuente: <http://www.imove.cl/wp-content/uploads/2015/12/caja.jpg>

1.11.2 Riel DIN ranurado

Es un accesorio de gabinete utilizado para el montaje de contactares, PLC'S, relés, bobinas, interruptores termo-magnéticos, temporizadores, entre otros dispositivos, son estructuras galvanizadas con acabados tropicalizados, es liso y perforado de 7,5 y de longitud de 15mm, como se puede observar en la figura 31-1 el Riel DIN ranurado.



Figura 31-1: Riel DIN ranurado
Fuente: <http://www.dlb.com.mx/productos/DLAR2140.jpg>

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En el presente capítulo se describe el diseño e implementación del sistema de automatización de bombeo de agua a través de la energía solar, tanto la parte electrónica, eléctrica, programación del Arduino PLC, la interfaz hombre máquina HMI, dimensionamiento de la bomba y los paneles. En el gráfico 1-2 se muestra las etapas de diseño e implementación del sistema propuesto.

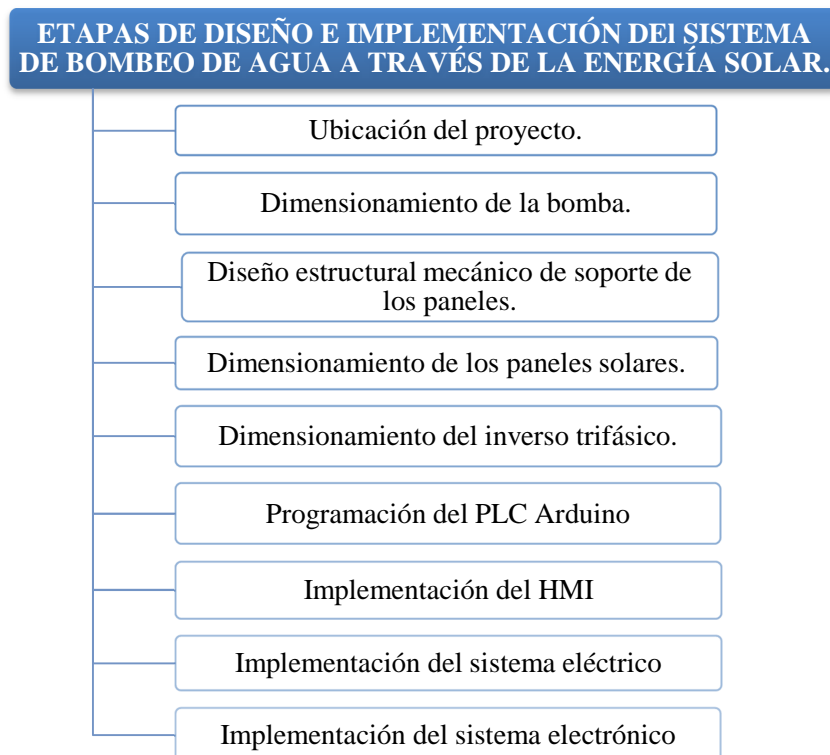


Gráfico 1-2: Etapas de diseño e implementación del sistema de bombeo de agua a través de energía solar.

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Para el diseño e implementación del proyecto de investigación se utilizó el método heurístico o conocido también como ideal, este método utiliza reglas empíricas para resolver un problema y consta de en 5 pasos como se muestra en la figura 2-2:

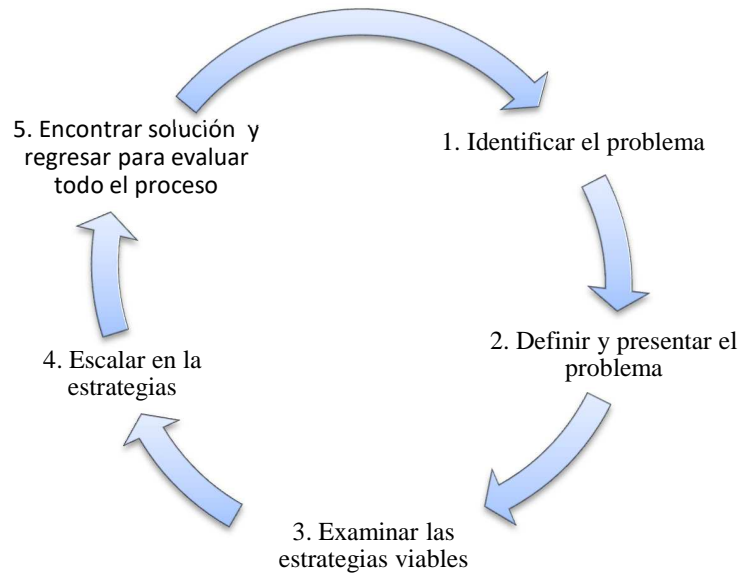


Gráfico 2-2: Método heurístico
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2 Fases del Diseño del Proyecto

Para el diseño e implementación del proyecto, se toman en cuenta los siguientes aspectos: ubicación, diseño estructural del soporte de los paneles fotovoltaicos, diseño y dimensionamiento del sistema de generación FV y eléctrico, implementación del variador de frecuencia, programación del Arduino PLC, implementación del HMI y de los dispositivos de control y mando.

2.2.1 Ubicación del proyecto

El lugar donde se va instalar el sistema de generación fotovoltaica, es en la provincia de Cañar, en la parroquia de Zhud, sus coordenadas geográficas son: latitud: -2.460696, longitud: -79.004574, tal como se muestra en la figura 1-2.

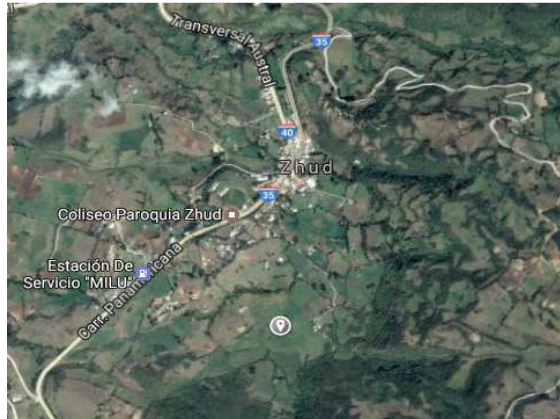


Figura 1-2: Ubicación del Proyecto
Fuente: Google maps

2.2.2 Dimensionamiento de la bomba

El sistema de bombeo fue diseñado teniendo en cuenta el caudal diario de agua requerida, la altura total y el lugar de la instalación. El caudal requerido es de $18 \text{ m}^3/\text{h}$ en base al tanque de purificación además se tomó en cuenta el volumen del estanque de la crianza de peces que es de 60 m^3 , altura de succión desde de 1.5 m por debajo de la cota de terreno, hasta una altura de 2 m, tal como se muestra en la figura 2-2.

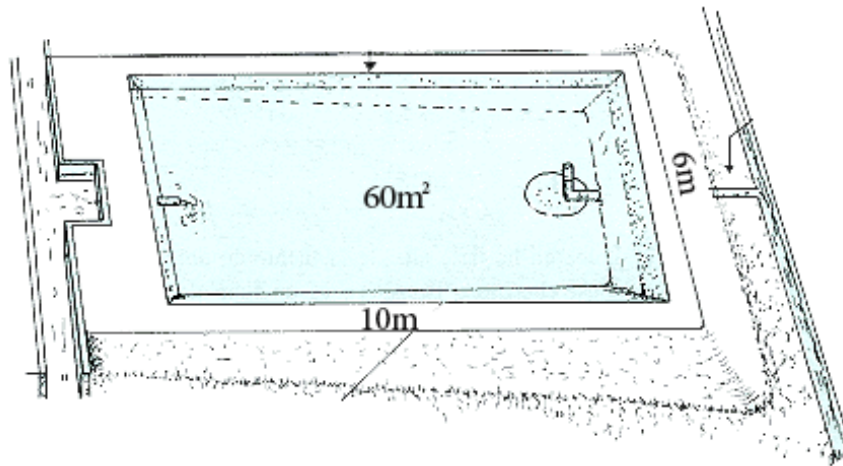


Figura 2-2: Dimensiones del estanque
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

La tabla 1-2 muestra las características de la tubería de la línea de aspiración y succión

Tabla 1-2: Características de la línea de aspiración y succión

Entrada	Salida
Longitud (H_a) = 1.5 [m]	Altura (H_i)= 2 [m]
1 Válvula de pie	2 codos de 90 grados
1 codo de 90 grados	2 codos de 45 grados
	Caudal: 18 m ³ /h (2.22l/s)

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El diámetro de tubería utilizado tanto para la línea de aspiración y succión de caudal es de 50 mm, determinado los datos. Para el proyecto se desea seleccionar una bomba centrífuga, por sus múltiples ventajas que ofrece para este tipo de aplicaciones, por ser mecanismos diseñados para bombear agua desde un depósito a una altura determinada. Con los parámetros y características del sistema de bombeo se tiene el siguiente diseño como se muestra en la figura 3-2.

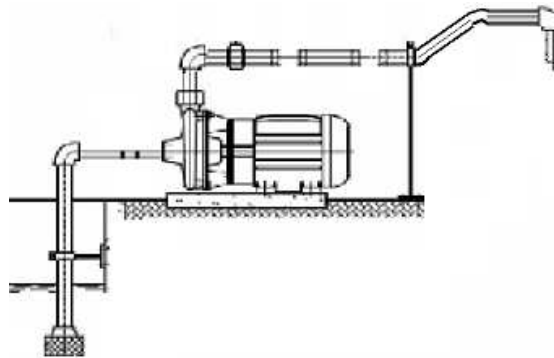


Figura 3-2: Diseño del sistema de bombeo

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.2.1 Cálculo de la altura manométrica

El cálculo de la altura manométrica se realizó mediante la ecuación 1-2 tal como se muestra a continuación.

Ecuación 1-2: Altura manométrica

$$H = H_g + P_c + 10 \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Donde:

H : altura manométrica

H_g : Altura geométrica

P_c : La pérdida de carga del flujo por paso de la tubería

$\frac{P_i - P_a}{\gamma}$: La presión diferencial entre la superficie de salida y entrada de la bomba.

Para este caso en especial la presión $P_i - P_a$ son iguales por tratarse de depósitos abiertos a la atmósfera, por tal razón esta componente se elimina. Por lo que se debe calcular la altura geométrica y la pérdida de carga.

2.2.2.2 Determinación de las pérdidas de carga

Para determinar la pérdida de carga tanto en la entrada y salida de la tubería primero se debe calcular la longitud real L_{eq} mas los accesorios tales como: codos, válvulas de pie/retención, entre otros ver anexo G.

Una vez encontrada la L_{eq} se obtiene la pérdida de la carga mediante la tabla del anexo I, consiste la sección algunos procedimientos más simplificados y rápidos, permitiendo estimar las pérdidas de carga que se originan en una instalación de bombeo de agua. Para lo cual se usa la tabla donde están tabuladas las pérdidas de carga por rozamiento, expresadas en metros para tramos rectos de tuberías de 100 metros de longitud, en función del caudal que circula y su diámetro interior:

Tubería de entrada: para encontrar la L_{eq} de la tubería de entrar se utilizó la ecuación 2-2:

Ecuación 2-2: Longitud equivalente de la tubería de entrada

$$L_{eq} = \text{longitud tubería} + \text{longitud equivalente valvula de pie}(1ud)$$

$$L_{eq} = 1.5 \text{ m} + 9 \text{ m} = 10.5 \text{ m}$$

La pérdida de carga para $18 \text{ m}^3/\text{h}$ en tubería de 50 [mm] se encontró mediante la ecuación 3-2:

Ecuación 3-2: Pérdidas de carga en la tubería de entrada

$$P_{c a} = \frac{10.95 * 10.5}{100} = 1.15 \text{ m}$$

Tubería de salida: para encontrar la L_{eq} de la tubería de salida se utilizó la ecuación 4-2:

Ecuación 4-2: Longitud equivalente de la tubería de salida

$$L_{eq} = \text{longitud tubería} + \text{longitud codo } 90^{\circ} + \text{longitud codo } 45^{\circ}$$

$$L_{eq} = 3.5 \text{ m} + (2 * 1.5)\text{m} + (2 * 1)\text{m} = 8.5 \text{ m}$$

La pérdida de carga se encontró mediante la ecuación 5-2:

Ecuación 5-2: Pérdidas de carga en la tubería de entrada

$$P_{ci} = \frac{10.94 * 8.5}{100} = 0.93 \text{ m}$$

Altura manométrica de entrada se calculó con la ecuación 6-2:

Ecuación 6-2: Altura manométrica de entrada

$$H_{entrada} = H_a + P_{ca}$$

$$H_{entrada} = 1 + 1.15 = 2.15 \text{ m}$$

Altura manométrica de salida se calculó con la ecuación 7-2:

Ecuación 7-2: Altura manométrica de salida

$$H_{salida} = H_a + P_{ci}$$

$$H_{salida} = 2 + 0.93 = 2.93 \text{ m}$$

La altura manométrica total fue calculada mediante la ecuación 8-2:

Ecuación 8-2: Altura manométrica total

$$H_{total} = H_{entrada} + H_{salida}$$

$$H_{total} = 2.15 + 2.93 = \mathbf{5.08 \text{ m}}$$

2.2.2.3 Selección de la potencia de bomba

Para la selección de la bomba, cada fabricante dispone de una tabla de selección rápida que permite obtener el modelo de bomba y las prestaciones que ofrece de entre toda la gama de bombas que se presentan.

En estas tablas se encuentran los valores de caudal y altura manométrica que debe suministrar la bomba, y que han sido calculados previamente. En este caso, se ha optado por seleccionar el equipo de bombeo del fabricante LEO, de cuyos catálogos se puede extraer la siguiente tabla de selección rápida de bombas.

Como se muestra en la figura 4-2, entrando en la tabla con un caudal ($Q=18 \text{ m}^3/\text{h}$) y una altura manométrica ($H=5.08 \text{ m}$) resulta adecuado el modelo bomba XKP804A de 1 HP potencia, de la gama de bombas de fabricante de la marca LEO.

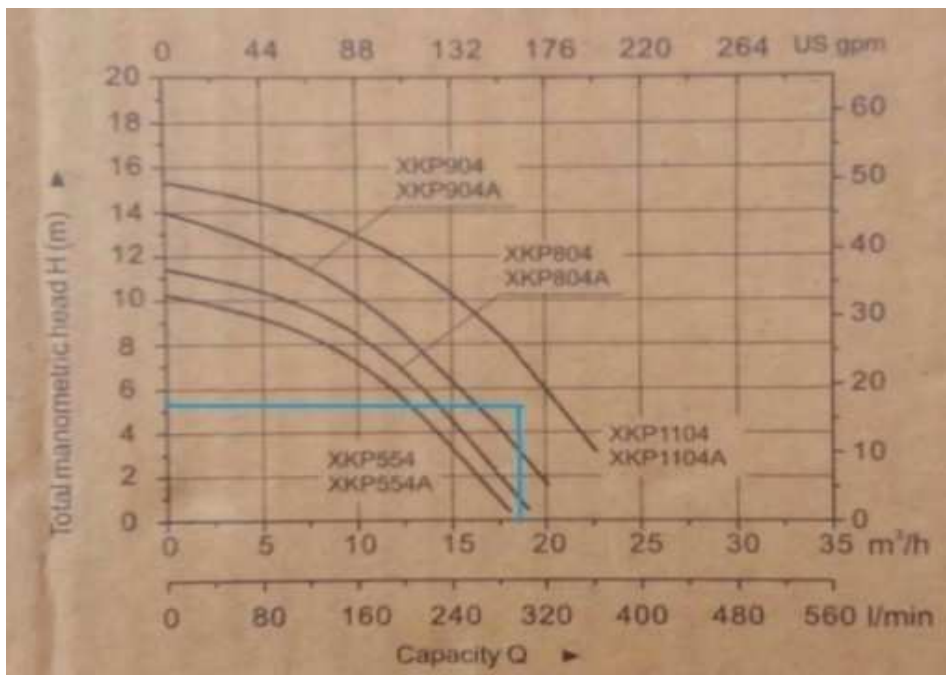


Figura 4-2: Tabla de selección de Bombas
Fuente: Fabricante de bombas marca LEO

La bomba seleccionada para este proyecto es como se muestra en la figura 5-2:



Figura 5-2: Bomba de agua
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

En la tabla 2-2 se detalla las características técnicas principales de la bomba centrífuga a condiciones de trabajo ideal:

Tabla 2-2: Datos de placa de la bomba

Descripción	Datos
Modelo	XKP804A
Potencia	1 HP
Diámetro	50mm (2'')
Flujo máximo	300l/m
Operación	3600 [rpm]
Succión	5 [m]
Altura máxima	10.8 [m]

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.2.4 Operación de la Bomba

El proceso para la transferencia de potencia eléctrica hacia la bomba es a través del motor trifásico que debido a sus pérdidas reduce la eficiencia de la bomba. Esta potencia eléctrica entregada por el motor se transforma en potencia mecánica que es ejercida hacia el eje del impulsor giratorio de la bomba permitiendo así mover el rotor. La bomba al recibir la potencia mecánica suministrada en su eje trasmite al impulsor y esta su vez al flujo, donde al final la potencia es transformada en potencia hidráulica. La tabla 3-2 se detalla los datos de placa del motor a condiciones de trabajo ideal:

Tabla 3-2: Datos de placa del motor

Descripción	Datos
Voltaje	220/380 [V] DD/YY
Corriente	3.15/1.82 [A]
Frecuencia	60 [Hz]
Potencia	1 HP
NEMA EFF	74.0%
Cos ϕ	0.84
Revoluciones/min	3440 [rpm]
EFF. CI.	IF1

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Cálculos:

Potencia de salida: su cálculo se realizó con la ecuación 9-2.

Ecuación. 9-2: Potencia de salida de la bomba

$$P_{out} = 1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$\therefore P_{out} = 746 \text{ W}$$

Potencia de entrada: su cálculo se realizó con la ecuación 10-2.

Ecuación. 10-2: Potencia de entrada de la bomba

$$\eta_{eff} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\eta_{eff} = \text{eficiencia del motor}$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta_{eff}} = \frac{746 \text{ W}}{74.0\%}$$

$$P_{in} = 1008.12 \text{ W}$$

Corriente de Línea: el cálculo de la corriente de línea se realizó por medio de la ecuación 11-2.

Ecuación. 11-2: Corriente de línea de la bomba

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * I_L * V_L * \text{Cos } \phi$$
$$I_L = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_L * \text{Cos } \phi} = \frac{1008.12 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.84}$$
$$I_L = 3.15 \text{ A}$$

Corriente de arranque: calculada mediante la ecuación 12-2.

Ecuación. 12-2: Corriente de arranque de la bomba

$$I_{arr} = 3.15 * 5.6$$
$$I_{arr} = 17.64 \text{ A}$$

Potencia reactiva: se calcula por medio de la ecuación 13-2.

Ecuación. 13-2: Potencia reactiva de la bomba

$$Q = P * \text{Tg} \phi$$
$$Q = 1008.12 * \text{Tg}(\text{cos}^{-1}(0.84))$$
$$Q = 651.18 \text{ VAR}$$

El control de la bomba se realizó a través de relés que se activa cuando el valor medido por el sensor se encuentre por debajo de los 6.44 ppm.

2.2.3 Montaje y alineación del eje del motor con el eje de la bomba

Para la unión entre el eje del motor y el eje de la bomba se utilizó un acoplamiento de tipo mandíbula como se muestra en la figura 6-2, ideal para reducir vibraciones, una de las características que presenta este tipo de acoples es que se puede ajustar con facilidad y a precisión, son eléctricamente aislados, de acero inoxidable. Están compuestos por dos mitades concéntricas y unidos por tornillos y tuerca. Al ser ajustados realizan la unión de los ejes.

El fundamento principal del acoplamiento es transmitir permanentemente el par requerido desde el eje motor al eje conducido, al mismo tiempo compensar el desalineamiento angular o paralelo o una combinación de ambos. Algunos de estos acoplamientos cumplen funciones adicionales tales como permitir o restringir un desplazamiento axial.

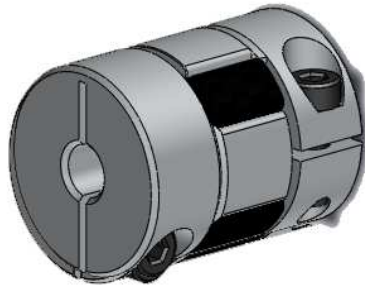


Figura 6-2: Acople de mandíbula
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

En la figura 7-2 se puede ver el acoplamiento realizado entre el eje de la bomba y el eje del motor a través del acople de mandíbula, de forma que todo el sistema quede empotrado de forma alineada para una mejor funcionalidad del sistema.



Figura 7-2: Conjunto motor bomba
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.3.1 Plataforma de empotre del motor y la bomba

La estructura está diseñada de dos tubos de 50 cm de largo y 6 cm de ancho como base principal, para la base del motor se utilizó tubos de 13.5 cm x 6 cm y para la base de la bomba un tubo de 18 cm x 6 cm, como se muestra en la figura 8-2.

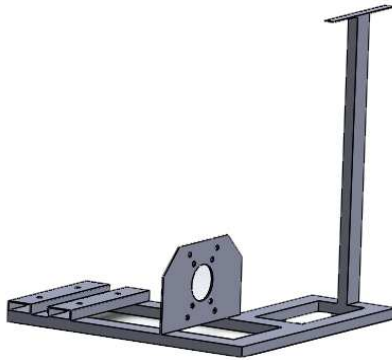


Figura 8-2: Base de soporte para empotrar el motor y la bomba
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.3.2 Sistema de inyección de grasa para el eje principal de la bomba

El sistema de acople entre el eje de la bomba cuenta con un sistema de lubricación para inyectar grasa al rodamiento instalado, como se muestra en la figura 9-2, con la finalidad de reducir el desgaste garantizando de esta manera aumentar la vida útil del rodamiento.

No obstante, al no contar con este sistema de mantenimiento se generará problemas tales como: ruido, vibraciones, desgastes de los rodamientos por el contacto entre metales, pérdida de rendimiento e incluso la rotura del mecanismo, por lo que es importante realizar los mantenimientos preventivos a los sistemas de rotación semestralmente.



Figura 9-2: Sistema de mantenimiento
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.3.3 Sistema de acople a la salida de la bomba

La salida de la bomba esta acoplado por una manguera de caucho de 2 pulgadas y de 50 cm de longitud que permite eliminar vibraciones y aligerar el peso sobre el cual está apoyado, por consiguiente, se utilizó un codo de 90° de unión entre la manguera y el sensor de caudal. Como se muestra en la figura 10-2.

El sensor de caudal está en unión con el tubo Hg sujetado sobre la base y en ella el sensor de presión, estos sensores instalados permiten monitorear los datos para medir la pérdida del caudal al momento de bombear el flujo de agua. Para obtener la caída del caudal en el punto fijado en el estanque se utilizó un codo de 45° en unión con tubo de la base con otro de la misma longitud, permitiéndonos así obtener una elevación de 45° a la salida, por último, se unió a través de un codo de 90° para unir otro tubo que llegue a la posición deseada.



Figura 10-2: Diseño del sistema de tubería a la salida
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.3.4 Sistema de acople a la entrada de la bomba

Se utilizó una manguera de caucho de dos pulgadas y de 1.5 m de longitud para evitar pérdida por succión de aire del exterior, y reducir vibraciones al momento de iniciar la succión, como se muestra en la figura 11-2.



Figura 11-2: Sistema de acople a la entrada
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Además, se instaló una válvula de pie colocado al pie de la tubería de succión con el objetivo de impedir que se produzca el vaciado de la tubería de succión, fenómeno muy importante en los sistemas moto-bomba que no pueden funcionar si tienen dichas tuberías vacías.

En conclusión, esta clase dispositivo tiene como finalidad permitir el cebado de la bomba manteniendo llena esta y la tubería después de parado el bombeo, como se mostró en la figura 11-2

2.2.4 Diseño y dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico.

Para realizar el dimensionamiento se determinó la radiación solar donde se va instalar el proyecto, para ello se tomó en cuenta los datos proporcionados por el Atlas Solar del Ecuador del CONELEC con fines de generación eléctrica, como se indica en la figura 12-2. En la zona de la provincia de Cañar se registra una insolación directa promedio anual de 2800 Wh/m²/día (5).

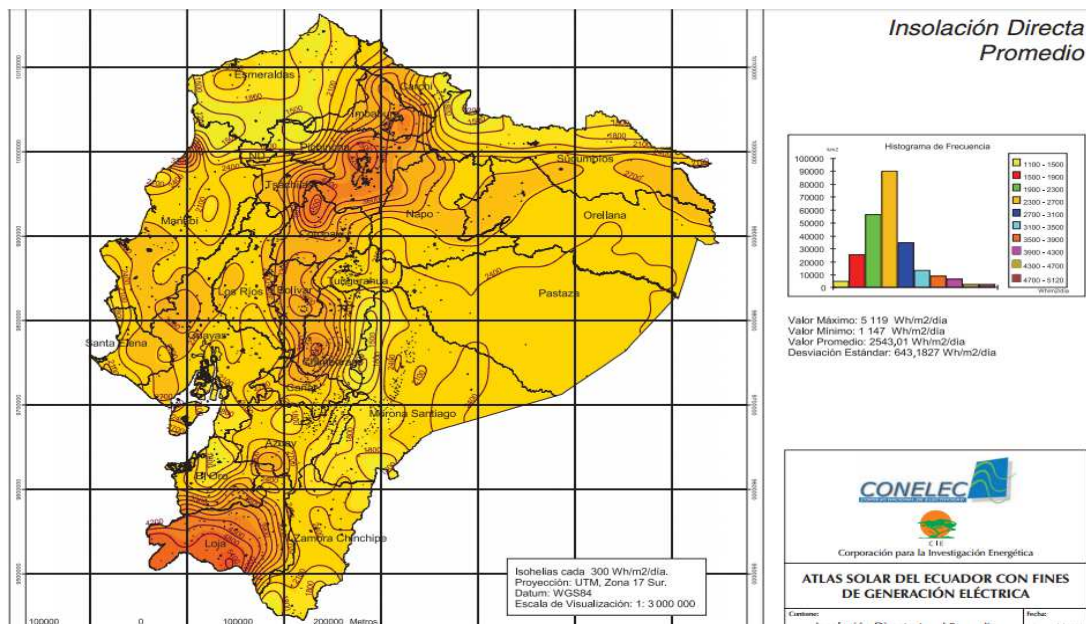


Figura 12-2: Mapa de insolación directa promedio anual

Fuente: Atlas Solar Ecuador.

El diseño y dimensionamiento del sistema FV de generación de energía debe garantizar un óptimo funcionamiento en función del consumo eléctrico y la radiación solar del sitio. Para ello se debe considerar la radiación solar del lugar, la inclinación, y orientación del módulo FV.

2.2.4.1 Radiación solar

La radiación solar está definida por las coordenadas solares, depende de los movimientos de la tierra, estas dos consideraciones condicionan la orientación del generador FV que deben tener los módulos fotovoltaicos, esta radiación solar que incide sobre el módulo FV genera energía solar fotovoltaica que será convertida en energía eléctrica. Además, se debe considerar los tipos de radiación en un dimensionamiento FV como muestra la figura 13-2.

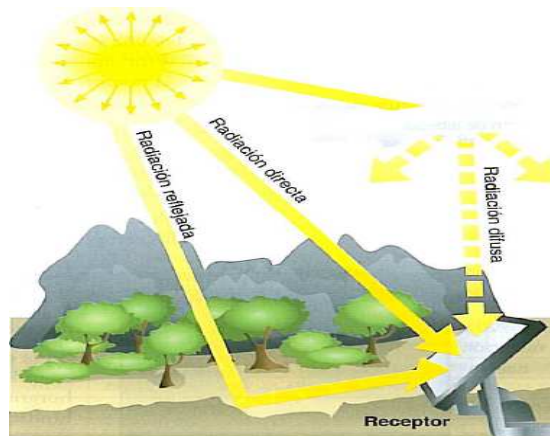


Figura 13-2: Tipos de Radiación

Fuente: Manual de instalaciones solares fotovoltaicas pdf.

2.2.4.2 Orientación e inclinación de los paneles solares

El ángulo de inclinación es el ángulo que forma la superficie de los paneles con la superficie horizontal, la orientación está colocada hacia el este para adquirir la mayor cantidad de radiación en las primeras horas del día, para el caso de este proyecto. El ángulo de inclinación de 15° como indica la figura 14-2, de tal forma que sirva para captar la máxima cantidad de radiación solar..



Figura 14-2: Tipos de Radiación Inclinación del módulo fotovoltaico

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

La inclinación y la orientación deben estar bien definidas a la superficie ya que es fundamental para conseguir una transformación eficiente de energía solar en energía eléctrica.

Para ello se debe conocer terminologías que ayuden a describir el movimiento de la tierra alrededor del sol, de esta forma definir y cuantificar la cantidad de radiación solar recibida.

2.2.4.3 Elección del panel fotovoltaico

Una vez determinado la radiación del sitio, la potencia requerida por el motor de 1 HP y tomando en cuenta las horas diarias de trabajo. En este caso se ha optado por seleccionar paneles solares de tecnología mono-cristalino Techno Suzhou, modelo SM636-150 por su alta eficiencia de célula del 17.96%, cuenta con una tolerancia del $\sim +3\%$ en relación al poli-cristalino u otras tecnologías similares. La figura 15-2 muestra el panel solar mono-cristalino.



Figura 15-2: Panel mono-cristalino

Fuente: Proveedor Provientos

En la tabla 4-2 se muestran las especificaciones técnicas del panel mono-cristalino:

Tabla 4-2: Datos de placa del panel mono-cristalino

Descripción	Parámetros
Tipo de modelo	SM636-150
Potencia máxima	150W
Tolerancia	0~+3%
Voltaje de Pmax (Vmp)	18.2V
Corriente de Pmax (Imp)	8.24A
Voltaje circuito abierto (Voc)	22.5V
Corriente en corto circuito	8.89A
Temperatura de operación nominal de la célula (NOCT)	47±2 °C
Voltaje máximo del sistema	1000VDC
Corriente max. de fusible	10A
Temperatura de operación	-40 °Cto +85 °C
Clase de aplicación	A
Cell technology	Mono-Si
Peso	12kg
Dimensiones [mm]	1476x676x35

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Además, estos dispositivos son diseñados con un diodo de bypass que reducen las pérdidas por sombras, adecuadas para aplicaciones industriales aisladas de la red. A continuación, se determina el cálculo matemático para el dimensionamiento del generador FV en base a las especificaciones antes mencionadas.

Resultados:

Demanda de energía del motor de la bomba: se calculó mediante la ecuación 14-2, tomando en cuenta los siguientes datos:

- $P = 1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$
- $t = 8 \text{ horas}$

Ecuación 14-2: Demanda de energía del motor de la bomba

$$E = P * t = 746 \text{ W} * 8 \text{ h} = \mathbf{6000 \text{ Wh/día}}$$

Cálculo del número de paneles a utilizarse en el proyecto: este cálculo se realizó mediante una vez hallado el factor de paneles con la ecuación 15-2, tomando en cuenta la energía requerida y el factor del panel, una vez obtenido este factor se procedió hallar el número de paneles requerido mediante la ecuación 16.-:

- **Energía requerida:** 6000Wh/día
- **Potencia del panel:** 150 W

Ecuación 15-2: Factor de paneles

$$\text{Factor de paneles} = \frac{E}{P \text{ paneles}} + \frac{E}{P \text{ paneles}} * 0.25$$

$$Fp = \frac{6000 \text{ Wh/día}}{150 \text{ W}} + \frac{6000 \text{ Wh/día}}{150 \text{ W}} * 0.25 = \mathbf{50}$$

Ecuación 16-2: Número de paneles requeridos

$$\text{Número de paneles} = \frac{Fp}{\text{hrs sol/coef. zona}}$$

$$N^0 \text{ paneles} = \frac{50}{8/1.15} = 7.19 \cong \mathbf{8 \text{ paneles}}$$

Generación de energía del módulo FV: se analizó mediante la ecuación 17-2, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- $P = 150 \text{ W} * 8 = 1200 \text{ W}$
- $t = 8 \text{ h/día}$

Ecuación 17-2: Generación de energía del módulo FV

$$E = P * t$$

$$E = 1200 \text{ W} * 8 \text{ h/día} = \mathbf{9600 \text{ Wh/día}}$$

Se conoce que la potencia necesaria para un trabajo de 8 horas al día es de 6000 Wh/día.

Para obtener dicha cantidad de energía se debe instalar 8 paneles solares de 150 W c/u conectados en serie, con los datos calculados anteriormente, los parámetros del generador son: potencia total de 1200 W, corriente pico del sistema 8A, voltaje 165 V, de forma que en 8 horas de trabajo al día se obtendrá una potencia de 9600 Wh/día.

El valor de la potencia desfavorable del panel corresponde a una potencia máxima menor de 0.5 W y la potencia máxima mayor es de 4.5 W como se muestra según la ecuación 18-2:

Ecuación. 18-2: Potencia desfavorable del panel

$$P_{\text{m}á\text{x}(-)} = P_{\text{m}á\text{x}} * \left[1 - \frac{t(\%)}{100} \right] = 150W * \left[1 - \frac{3}{100} \right] = 145.5 [W]$$

$$P_{\text{m}á\text{x}(+)} = P_{\text{m}á\text{x}} * \left[1 + \frac{t(\%)}{100} \right] = 150W * \left[1 + \frac{3}{100} \right] = 154.5 [W]$$

2.2.5 *Diseño de la estructura para el soporte de los paneles*

Los soportes están diseñados con tubos rectangulares de dos pulgadas de acero inoxidable, porque es un material que ofrece una tasa de corrosión es de 2.66 micras al año, es decir que la vida útil de la estructura será de 26 años aproximadamente. Como se muestra en la figura 16-2.

Para el diseño de un sistema FV una de las consideraciones más importantes que se debe tomar, es la construcción de la estructura sobre el cual se va a montar o anclar los paneles fotovoltaicos y la acción de los agentes atmosféricos tales como la fuerza del viento, de forma que la inclinación/orientación sea óptima para la aplicación.



Figura 16-2: Estructura de soporte
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Para poder llevar a cabo con lo manifestado anteriormente y que cumpla con las funciones deseadas, la estructura se diseñó con las siguientes dimensiones, como se muestra en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Dimensiones de la estructura

Descripción	Dimensión
Altura de la parte frontal	50 [cm]
Altura de la parte superior	100 [cm]
Inclinación para el empotramiento de los paneles sobre la estructura	15 ⁰ [grados]
Separación horizontal entre paneles	64 [cm]
Separación vertical entre paneles	138 [cm]

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.6 Montaje de los paneles solares

Los paneles solares están empotrados sobre la parte mecánica de la estructura armada ya fijada con tornillos de acero inoxidable, en cada mesa están ubicados dos paneles, colocados en fila de cuatro, de esta manera se obtiene un montaje total de ocho paneles en todo el sistema de generación FV, con inclinación de 15⁰ grados y orientación al sur este, para la máxima captación de radiación solar y garantizar la energía demandado por la aplicación en uso.

La figura 17-2 representa el montaje de los paneles solares en la Finca “El Porvenir”.



Figura 17-2: Montaje de los paneles
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.7 Dimensionamiento del Inversor trifásico NASTEC

Para dimensionar el inversor a utilizar, se considera la corriente y la tensión nominal del motor, garantizando el máximo rendimiento de la instalación fotovoltaica, se debe considerar uno o más hileras de paneles solares conectados en serie, que deberán proporcionar:

- La potencia eléctrica del motor (P1), La potencia fotovoltaica (Wp) debe ser al menos igual a la potencia del motor eléctrico (P1). Teniendo en cuenta la típica pérdida de eficiencia de los paneles debido a la temperatura, se recomienda incrementar la potencia Wp un 15% respecto a P1.
- Tensión nominal del motor a la máxima potencia, la tensión nominal de cada hilera fotovoltaica (Vmp) debe ser al menos igual a la tensión nominal del motor multiplicado por el factor de 1,4.
- La tensión de circuito abierto de cada hilera (Voc) debe ser inferior a la tensión de servicio máxima del VASCO Solar

Cálculos de dimensionamiento del inversor: se debe tomar en cuenta los siguientes datos:

- $P = 746 \text{ W}$
- $I = 3.15 \text{ A}$
- $V = 3 \times 220 \text{ V}$

Siendo la tensión nominal del motor 220 VAC y la corriente nominal de 3.15 A, tomado en consideración estos parámetros y basado en la tabla 6-2 el modelo más adecuado para aplicación es el inversor VASCO Solar 212, como se muestra en la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Tipo de inversores

Modelo	Vin	Vin P1 nom *	Max. V out	Max. I out	P2 Motor **		Peso
	[VDC]	[VDC]	[VAC]	[A]	[VAC]	[kW]	[kg]
VASCO Solar 212	120 – 650	> 320	3 x 230	12	3 x 230	2,2	8,2
VASCO Solar 409	320 – 850	> 560	3 x 400	9	3 x 400	3	8,3
VASCO Solar 412	320 – 850	> 560	3 x 400	12	3 x 400	4	8,5
VASCO Solar 415	320 – 850	> 560	3 x 400	15	3 x 400	5,5	8,5
VASCO Solar 418	320 – 850	> 560	3 x 400	18	3 x 400	7,5	8,5
VASCO Solar 425	320 – 850	> 560	3 x 400	25	3 x 400	11	8,5
VASCO Solar 430	320 – 850	> 560	3 x 400	30	3 x 400	15	8,7

Fuente: http://www.provientto.com.ec/VASCO_Solar_2_0_espMA.pdf

La tabla 7-2 muestra el modo de conexión del inversor al motor:

Tabla 7-2: Modo de conexión del Inversor al motor

Alimentación DC:	Salida de motor:	Alimentación ventiladores auxiliares 12 Vdc
LINE: L1, L3	MOTOR: U, V, W	VENT: +, -
Utilizar cables con conectores	Utilizar cables con conectores	NOTA: Respetar la polaridad

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla 2017

En la figura 18-2 se muestra la instalación del inversor VASCO Solar



Figura 18-2: Empotramiento del inversor

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

La función del inversor es transformar la corriente continua proporcionada por el módulo FV en corriente alterna para la alimentación del motor de 1 HP instalado en el estanque.

Como se muestra en la figura 19-2, además se presenta el diagrama de conexiones del inversor con el módulo FV y la bomba.

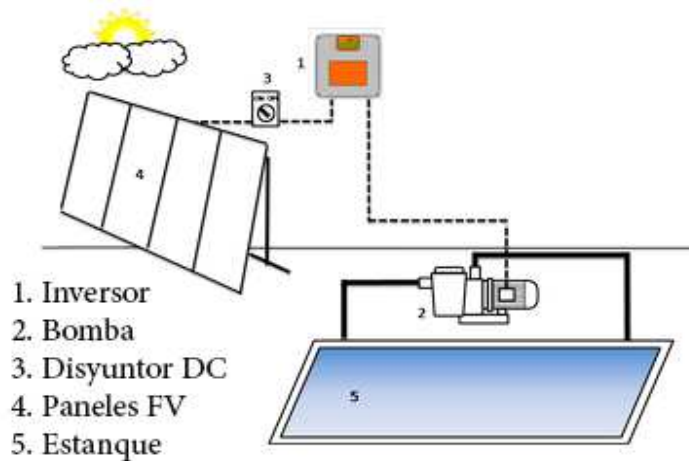


Figura 19-2: Diagrama de conexión del inversor
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.2.8 Dimensionamiento de los conductores

La ecuación 19-2 que se utilizó para el dimensionamiento de los conductores y el cálculo de la caída de tensión para un circuito bifásico es:

Ecuación 19-2: Caída de tensión en el conductor

$$\Delta V = 2IREL$$

Dónde:

ΔV : Caída de voltaje

L: Distancia del conductor

Re: Resistencia del conductor

I: Corriente (A)

Para que el conductor elegido sea ideal la caída de tensión debe ser menor al 5%

2.2.8.1 Cálculo del conductor para la Etapa de control

Para el cálculo del conductor, se toma como referencia los siguientes datos:

- I=0.66A
- V=110 V
- L=7 m

Según el Anexo H, el valor para el cable del conductor es el #16 AWG y una resistencia de $13.5 \frac{\Omega}{km}$, para lo cual se basó en la ecuación 19-2 para el cálculo de la caída de tensión en el conductor.

Cálculo de la caída tensión del cable de control:

$$\begin{aligned}\Delta V &= 2(0.66A)(13.5 \frac{\Omega}{km})(5m) \\ \Delta V &= 0.0891 \\ \Delta V &= \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.0891}{120} = 0.074\%\end{aligned}$$

2.2.8.2 Cálculo del conductor para la Etapa AC

Para el cálculo del conductor se toma como referencia los siguientes datos:

- I=3.37A
- V=220 V
- L=12 m

Según el Anexo H, el valor del cable para el conductor es el #10 AWG y una resistencia de $3.28 \frac{\Omega}{km}$, para lo cual se utilizó la ecuación 19-2 antes descrita.

Cálculo del conductor para la Etapa AC:

$$\begin{aligned}\Delta V &= 2(3.37A)(3.28 \frac{\Omega}{km})(12m) \\ \Delta V &= 2.652 \\ \Delta V &= \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 2.65}{120} = 2.21\%\end{aligned}$$

2.2.8.3 Cálculo del conductor para la parte de DC

Para el cálculo del conductor que se utilizó se tomó como referencia los siguientes datos:

- I= 8 A
- V=165 V
- L=10 m

Según el Anexo H, el valor del cable para el conductor es el #10 AWG y una resistencia de $3.28 \frac{\Omega}{km}$, para lo cual se utilizó la ecuación 19-2 antes descrita.

Cálculo del conductor para la Etapa DC:

$$\Delta V = 2(3.37A)(3.28 \frac{\Omega}{km})(12m)$$

$$\Delta V = 2.652$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 2.65}{120} = 2.21\%$$

2.2.8.4 Conductores utilizados en el sistema

En la tabla 8-2, se muestran los conductores utilizados en el sistema tanto en la etapa de corriente alterna, corriente continua y de control.

Tabla 8-2: Valores de los conductores en AC, DC y control

SISTEMA	CORRIENTE	CALIBRE
Línea AC	8 A	10 AWG
Línea DC	8.24 A	10 AWG
Control	1.96 A	16 AWG

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.3 Implementación del Variador de Frecuencia

Se utilizó el variador de frecuencia con el fin de realizar un sistema híbrido para accionar el motor trifásico instalado, el dispositivo funciona en la noche conectado a la red eléctrica, por dos razones:

- El sistema implementado no dispone de acumuladores como baterías debido a su alto costo y bajo beneficio y su tiempo de vida útil es de 3 años.
- En la noche no existe caída de oxígeno, pero sin embargo el sistema realiza horas de bombeo temporizadas para mantener el oxígeno estable.

2.3.1 Programación de los parámetros en el variador de frecuencia

Para que el variador funcione en óptimas condiciones se realizó la configuración de los parámetros de acuerdo al dato de placa del motor, los que se muestra en el gráfico 3-2.

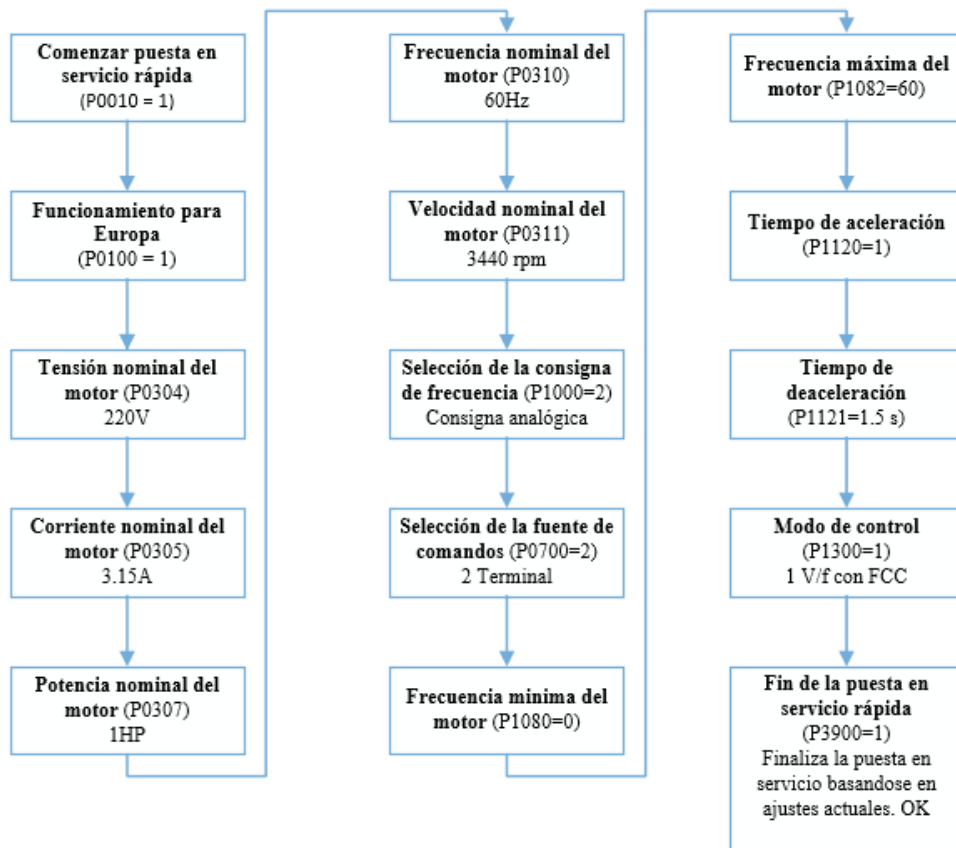


Gráfico 3-2: Parámetros de configuración del variador de frecuencia
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.4 Programación del Arduino PLC

Para el sistema de control se utilizó un Arduino PLC conocido también como ARDBOX RELAY, basado en el Arduino MEGA2560 el cual posee 6 entradas digitales o analógicas de 0 a 10V configuradas por *software*, 4 entradas digitales que pueden operar con 12 o 24 voltios y 8 salidas a relays que soportan niveles de comunicación SPI, I2C y RS-232. La figura 20-2 muestra el diagrama de salidas y entradas de datos.

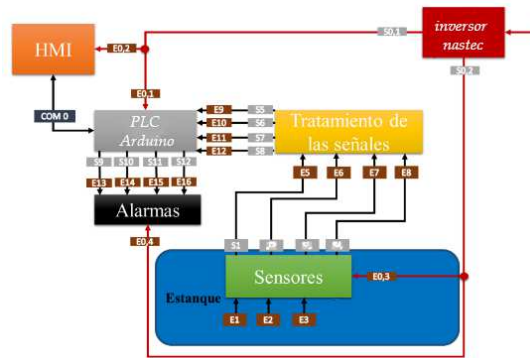


Figura 20-2: Diagrama de programación
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

La programación del Arduino PLC se realizó en el *software* Arduino Open-source, su funcionamiento es comandar el sistema de bombeo dependiendo de las mediciones realizadas por el sensor, donde internamente en la programación verifica si el valor del oxígeno es menor o igual a 6.4 ppm, mientras esto se cumpla activa el pin 13 la bomba empieza bombear.

Tomando en cuenta lo anterior se procedió a programar el Arduino PLC según las especificaciones detalladas a continuación, de tal forma se pueda accionar automáticamente el sistema de bombeado de agua en relación al oxígeno disuelto en el estanque. Para la programación del sistema de control se realizó tomando en cuenta cada etapa como se muestra en la figura 21-2.

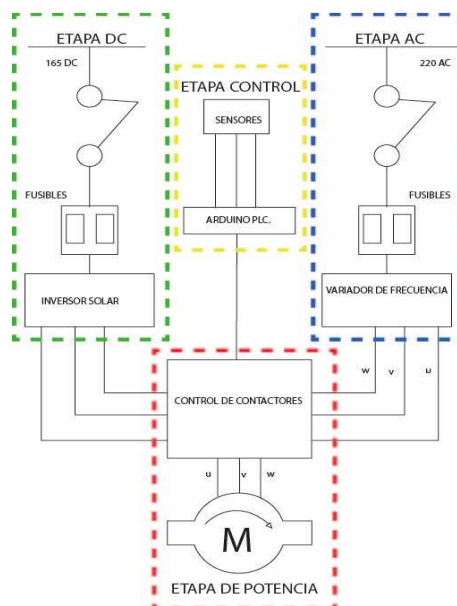


Figura 21-2: Diagrama de la etapa de control AC y DC
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Alimentación

- *Entrada*
E0 Fuente de alimentación proveniente del inversor 165V
- *Salida*
S0,1–S0,2 Voltajes de alimentación provenientes del bloque de poder 165V–220AC

Sensores

- *Entradas*
E0, 3 Voltaje de alimentación a los sensores 5V
E1 Adquisición de la concentración de oxígeno del agua en ppm
E2 Adquisición de la calidad de agua Ph
E3 Adquisición de la señal física del caudal
- *Salida*
S1 Valores en términos de voltaje y corriente que envía el sensor de oxígeno
S2 Valores en términos de voltaje y corriente que envía el sensor de caudal
S3 Valores en términos de voltaje y corriente que envía el sensor de presión

Tratamiento de señales

- *Entradas*
E5 Voltaje del sensor de oxígeno 5 V
E6 Voltaje sensor de presión 5V
E7 Voltaje del sensor del caudal 5V
- *Salidas*
S5 – S8 Señales de cada uno de los sensores ya tratada

Arduino PLC

- *Entradas*
E0, 1 Alimentación del Arduino PLC de 12 V
E9 – E12 Valores provenientes de los sensores de oxígeno, caudal y pH del agua

- *Salidas*
 - S9 – S11** Valores emitidos por el PLC y dirigidos los sensores y actuadores instalados
 - COM0** Comunicación Arduino PLC y HMI

HMI

- *Entradas*
 - E0,2** Esta entrada es la alimentación del HMI de 5V
 - COM0** Comunicación entre el HMI y Arduino PLC Rx y Tx

2.5 Implementación del HMI

Para el desarrollo de la programación del HMI, se realizó en el software NEXTION, que permite manipular el monitoreo de oxígeno, encendido y apagado de la bomba tanto en forma manual como automático.

La figura 22-2 muestra el inicio de la pantalla de la interfaz para que el usuario pueda operar el sistema de bombeo de agua.



Figura 22-2: Pantalla Principal
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

En figura 23-2 se muestra los valores de oxígeno, caudal y presión actual del sistema de bombeo, la facilidad de monitorear el estado del oxígeno en el estanque, así también el estado de los sensores y actuadores instalados, como el botón de marcha y paro del sistema.



Figura 23-2: Pantalla secundaria
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.6 Implementación de los Dispositivos de Control y Mando

En esta parte se implementaron todos los dispositivos de mando y control que comandaron el sistema de bombeo, así como también las debidas protecciones con las que cuenta contar el sistema para evitar sobrecargas y cortocircuitos.

El diseño e implementación se realizó desde la ubicación del riel DIN, canaletas, montaje de los contactares, relés, Arduino PLC, cableado, instalación del HMI y por último la señalética de seguridad referida a riesgos eléctricos.

2.6.1 Diagrama eléctrico del circuito de control

En el diagrama del circuito de control, se muestran las conexiones realizadas para el arranque de la bomba de forma automática y manual, como se muestra en la figura 24-2

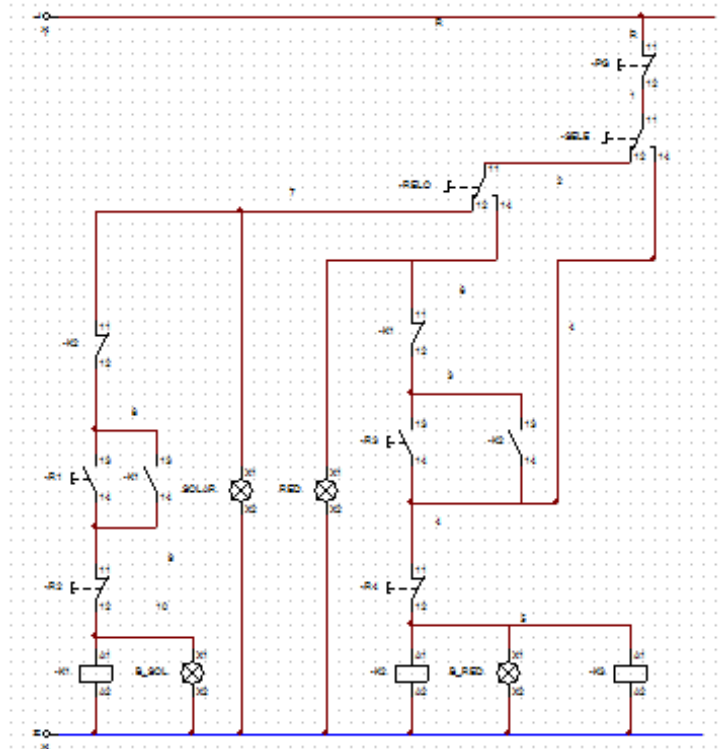


Figura 24-2: Diagrama eléctrico del circuito de control
 Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.6.2 Armario de control

Para el diseño del armario de control se consideró los elementos a implementarse, en el proyecto, siendo su dimensión de 80 x 80 cm con una protección ip67, según la distribución del riel DIN y las canaletas en nuestro caso específico. Como se muestra en la figura 25-2, donde se realizó la colocación de canaletas, riel DIN y todos los elementos que comandaran el proceso.



Figura 25-2: Colocación de canaletas y riel DIN
 Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.6.3 *Cableado*

Con los cálculos obtenidos anteriormente se procedió a realizar el cableado de todos los dispositivos empotrados en el armario de control, como se puede visualizar en figura 26-2.



Figura 26-2: Cableado de los elementos de control y potencia
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.6.4 *Anclaje de la pantalla HMI*

La figura 27-2 se muestra la forma como se halla empotrada el HMI en el armario de control que permite al operario monitorear el funcionamiento del sistema.



Figura 27-2: Pantalla NEXTION
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.6.5 El Tablero del Control

En las figuras 28-2 y 29-2 se muestran las vistas interior y exterior del armario de control terminado y todos los dispositivos que gobiernan el sistema de control, así como también la señalética de seguridad ara riesgos eléctricos.



Figura 28-2: Vista interior del tablero
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017



Figura 29-2: Vista exterior del tablero
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

2.7 Instalación del Venturi para la obtención y transferencia de oxígeno en el estanque

El Tubo de Venturi fue creado por el físico e inventor italiano Giovanni Battista Venturi , tal como predice la ecuación de continuidad, la velocidad de un fluido aumenta porque el área del conducto se reduce y según la ecuación de Bernoulli, una aumenta de velocidad producirá una disminución de presión.

El efecto Venturi consiste en que la corriente de un fluido dentro de un conductor cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo del otro conducto se produce una aspiración de flujo contenido en el segundo conducto. Las medidas del tubo Venturi construido en el proyecto se muestra en la figura 30-2.

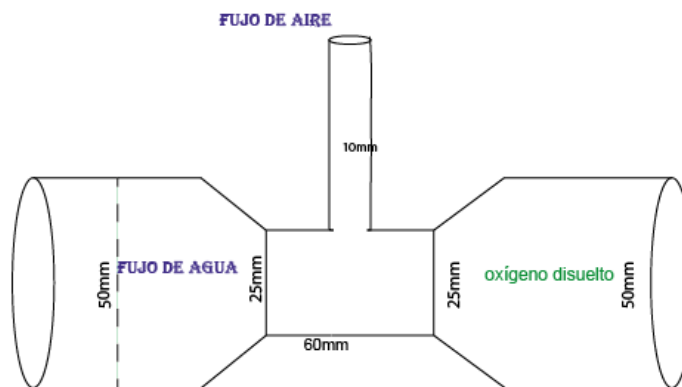


Figura 30-2: Dimisiones para el tubo Venturi
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Una vez entendido el efecto Venturi con los datos mostrados en la figura 30-2 y mediante fórmulas de la dinámica de fluidos encontramos nuestra diferencia de presión entre $P_1 - P_2 = \Delta P$ la cual sirve para conocer si se produce la aspiración de aire.

Cálculos:

- Las velocidades en los dos tramos, en la parte ancha y en el estrecho.
- La diferencia de presión entre los dos tramos.

Para realizar estos cálculos se basó en la figura 31-2 que muestra la mezcla del flujo de aire con el agua para obtener oxígeno disuelto en el agua del estanque.

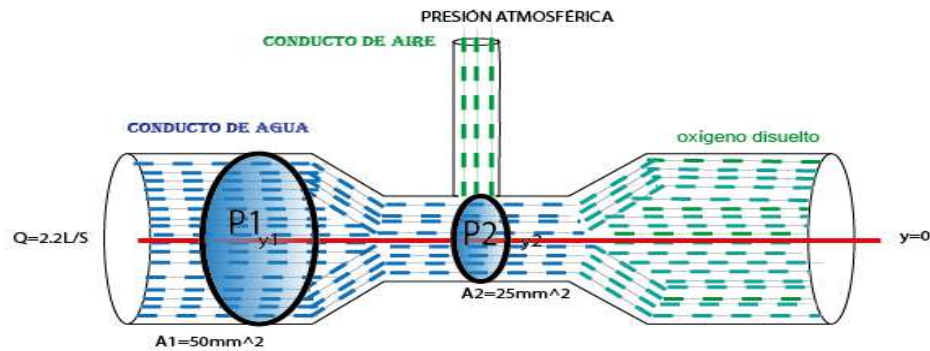


Figura 31-2: Obtención del oxígeno disuelto en el agua del estanque
 Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Para el análisis de la obtención de oxígeno se partió de la fórmula del caudal esta expresada en la ecuación 20-2

Ecuación 20-2: Calculo del caudal

$$Q = A * v$$

Donde:

A=área.

v= velocidad del fluido.

Como el caudal es una constante entonces va ser igual en Área 1 y Área 2 tal como se indica en la ecuación 21-2.

Ecuación 21-2: Calculo del caudal para áreas iguales

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

De la expresión anterior se obtuvo la velocidad 1 y la velocidad 2.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{2,2 * 10^{-3}}{5 * 10^{-4}} = \frac{0.0022}{0.0005} = 4.4 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2,2 * 10^{-3}}{2,5 * 10^{-4}} = \frac{0.0022}{0.0002} = 8.8 \text{ m/s}$$

De los dos resultados anteriores se nota que existe un incremento de velocidad en v_2 . Luego se obtuvo la diferencia de presiones mediante la ecuación 22-2 de Bernoulli aplicada al punto 1 y punto 2

Ecuación 22-2: Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho * v_1^2 + \rho * g * y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho * v_2^2 + \rho * g * y_2$$

Luego se analizó el nivel de referencia y_1 y y_2 como ambos están en el mismo punto los valores son cero.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho * v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho * v_2^2$$

Finalmente se calculó de diferencia de presión entre $P_1 - P_2$ conociendo que $\rho = 1000$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho * v_2^2 - \frac{1}{2}\rho * v_1^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}1000(8.8^2 - 4.4^2)$$

$$P_1 - P_2 = 29040 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 29040 \text{ Pa}$$

Se observó que, si existe una diferencia de presión, lo cual, si se produce la aspiración por el conducto de aire, obteniendo una mezcla de las dos sustancias aire con agua que sería oxígeno disuelto, que es lo que se desea alcanzar con la implementación de este proyecto. La figura 32-2 muestra el Tubo Venturi implementado en el sistema para la oxigenación de estanque de truchas.



Figura 32-2: Implementación del Tubo Venturi
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

CAPÍTULO III

3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Introducción

El presente capítulo fundamenta las pruebas y/o resultados que se obtuvieron con la implementación del sistema automatizado de bombeo para generar oxígeno artificial en el estanque utilizando el efecto Venturi, con el fin de establecer la operatividad y rendimiento del sistema.

3.2 Prueba de funcionalidad del Módulo Fotovoltaico.

En esta sección se realizaron pruebas para verificar la inclinación a la que deben estar ubicados los paneles solares y el rendimiento que generara el modulo fotovoltaico instalado.

3.2.1 Prueba de Inclinación de los paneles solares

La tabla 1-3 muestra los valores de radiación respecto a la inclinación de los paneles en un rango de 0 a 90 grados con intervalos de 15 grados.

Tabla 1-3: Valores de radiación respecto a la inclinación

Inclinación [°]	Resultado [Kwh/m ²]
0	1
15	5.3
30	5.1
45	5.0
75	3.6
90	2.6

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Debido a que la radiación es mayor en una inclinación de 15 grados, los paneles solares fueron dispuestos en ese ángulo, obtenido así mejores resultados en la captación de la radiación solar con la que funcionara el sistema.

3.2.2 Rendimiento del Módulo Fotovoltaico Implementado

Para comprobar el rendimiento del módulo FV, se procedió a realizar cálculos de la radiación solar que incide en el lugar y en las distintas horas de la mañana y tarde, teniendo en cuenta la inclinación y orientación del módulo FV. La tabla 4-3 muestra los valores promedios de la radiación solar medida diariamente, en el gráfico 2-3 se presenta el rendimiento de los paneles solares.

Tabla 2-3: Radiación solar diaria promedio

Hora	Radiación solar Kw/h
06H00	0,1
08H00	3
10H00	6,2
11H00	7,2
12H00	5
13H00	4,8
15H00	3,5
17H00	2,5
18H00	0,75

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

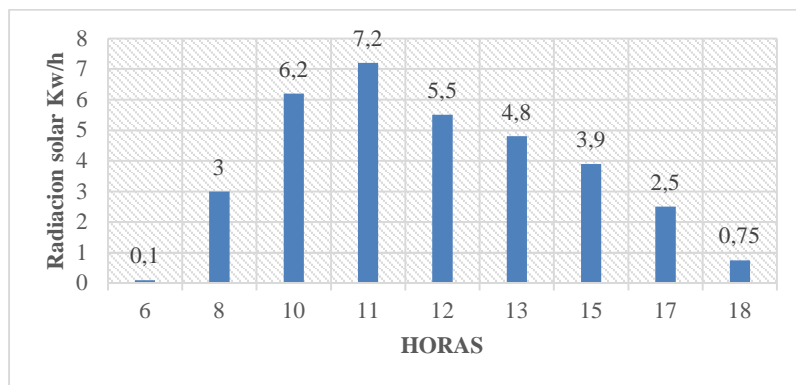


Gráfico 1-3: Rendimiento del panel solar

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Al realizar una estimación de la radiación solar en el lugar y en las horas señaladas, la relación de rendimiento energético de los paneles solares instalados, se determinó que la mayor captación de radiación está en las primeras horas de la mañana hasta el mediodía. Por lo tanto, la orientación e inclinación de los módulos FV es la más óptima por la mejor captación de los rayos solares.

3.3 Pruebas del Sistema

Las siguientes pruebas se realizaron con el fin de determinar el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores implementados en el proyecto, de forma que la ejecución sea bajo condiciones netamente establecidas y prever en el futuro un mal funcionamiento del sistema.

3.3.1 Prueba de la capacidad de bombeo

Las pruebas de la capacidad de bombeo se las realizó en relación a la potencia de la bomba que suministra al eje del impulsor de la bomba como se muestra en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Resultado de la capacidad de bombeo

Potencia [W]	Flujo máximo [m ³ /h]
150	4.02
300	8.04
450	12.06
500	13.40
650	17.43
746	20

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas la capacidad máxima de bombeo es de 20 m³/h con una potencia de 746 W. La bomba está dimensionada para funcionar en cualquier momento que el sistema lo requiera durante las 24 horas del día, también puede ser operada de forma manual.

3.3.2 Prueba de la Red de sensores instalados

En esta sección se detalla las pruebas realizadas en los diferentes sensores que fueron implantados en el sistema como son de oxígeno y caudal.

3.3.2.1 Sensor de Oxígeno

La tabla 4-3 muestra el rango de alcance del sensor de oxígeno en el interior del estanque. Se realizó pruebas en cuatro puntos específicos, cabe mencionar que la profundidad del estanque es de 1 metro.

Tabla 4-3: Alcance del sensor de oxígeno

Distancia [cm]	Resultado [ppm]	
	SI	NO
25	X	
50	X	
75		X
100		X

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Con los resultados obtenidos el sensor instalado tiene un alcance de máximo 50 cm en relación a la profundidad, es decir desde el punto donde se encuentra el sensor a 100 cm se desconoce el valor medido de la concentración del oxígeno.

3.3.2.2 Sensor de caudal

La tabla 5-3 indica el número de pulsos por litro emitidos por el sensor de caudal en relación al caudal que circula por la tubería.

Tabla 5-3: Valores del sensor en relación al caudal

Flujo [mm]	Resultado [pulso/l]
50	12
40	9.6
30	7.2
25	6

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Realizado las mediciones correspondientes se conoce que para bombear una cantidad de caudal mayor a la que se encuentra dimensionado, se necesitaría dos sensores de caudal colocados en paralelo que nos permitan conocer la cantidad de flujo que circula por la tubería.

3.4 Resultados obtenidos en los factores que afectan en la crianza de las truchas.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos mediante las mediciones realizadas en el estanque antes y después de la implementación del sistema. Los valores observados representan los promedios de los seis muestreos realizados en cada uno de los cinco días.

3.4.1 Resultados del parámetro Temperatura Ambiente.

Una de las consideraciones que se tomó en cuenta al momento de medir la concentración de oxígeno disuelto fue la temperatura del lugar, ya que es una variable que influye en la concentración de oxígeno. En el caso de la temperatura en cuanto a las lecturas realizadas que se muestran en la tabla 6-3, como promedio se obtuvo como máximo 21.30 °C y un mínimo de 17.37 °C, con lo que se determinó que la temperatura en el lugar afecta en condiciones críticas a la producción de oxígeno.

Tabla 6-3: Lectura de temperatura ambiente

Días	Temperatura (°C)						Promedio.
	Muestreo #1 (8 am)	Muestreo #2 (10 am)	Muestreo #3 (12 am)	Muestreo #4 (14 pm)	Muestreo #5 (16 pm)	Muestreo #6 (18 pm)	
1	10,65	19,83	24,43	22,73	18,23	15,42	18,55
2	9,34	17,43	25,89	22,34	20,34	18,34	18,95
3	12,34	20,34	27,34	24,23	22,92	17,23	20,73
4	8,25	18,57	24,57	25,98	18,34	13,54	18,21
5	12,43	20,15	25,87	24,15	20,98	18,78	20,39
Máximo.	12,43	20,34	27,34	25,98	22,92	18,78	21,30
Mínimo.	8,25	17,43	24,43	22,34	18,23	13,54	17,37
Promedio	10,60	19,26	25,62	23,89	20,16	16,66	19,37

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El gráfico 2-3 muestra la variación de la temperatura ambiente que se tuvo en el lapso de los 5 días en que fueron tomadas las muestras.

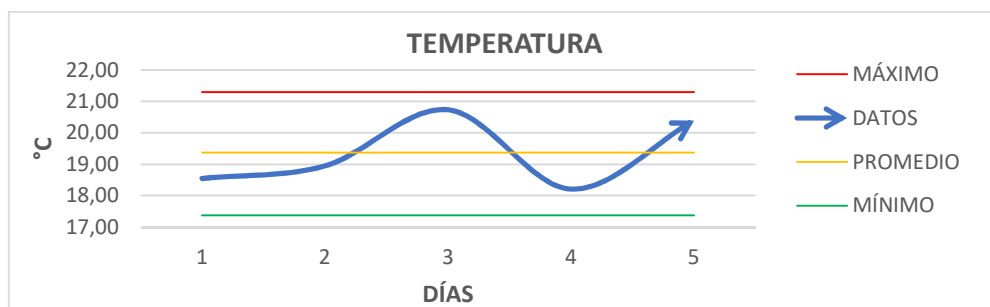


Gráfico 2-3: Variaciones de temperatura
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

3.4.2 Oxígeno disuelto

3.4.2.1 Oxígeno disuelto antes de la implementación del sistema

Según los resultados obtenidos de la tabla 7-3, podemos decir que la concentración del oxígeno se encuentra por debajo del valor mínimo que es de 6.0 mg/L, afectando de esta manera el crecimiento y el desarrollo normal de las truchas.

Tabla 7-3: Lectura del oxígeno disuelto en el estanque antes de la implantación del sistema

Días	OXÍGENO DISUELTO						
	Muestreo #1 (8 am)	Muestreo #2 (10 am)	Muestreo #3 (12 am)	Muestreo #4 (14 pm)	Muestreo #5 (16 pm)	Muestreo #6 (18 pm)	Promedio.
1	5,82	5,74	4,89	4,45	5,98	4,72	5,27
2	6,78	5,63	4,92	4,51	4,64	6,49	5,50
3	5,62	5,07	4,23	3,21	3,1	3,68	4,14
4	5,81	5,91	5,94	3,49	6,69	6,58	5,74
5	6,61	5,62	5,2	4,72	4,65	5,34	5,48
Máximo.	6,78	5,91	5,94	4,51	6,69	6,58	6,07
Mínimo.	5,62	5,07	4,89	3,21	3,1	3,68	4,262
Promedio	6,13	5,59	5,24	3,92	5,01	5,36	5,21

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El gráfico 3-3 muestra la variación de oxígeno disuelto en el agua del estanque según las muestras tomadas en los 5 días antes de la implantación.

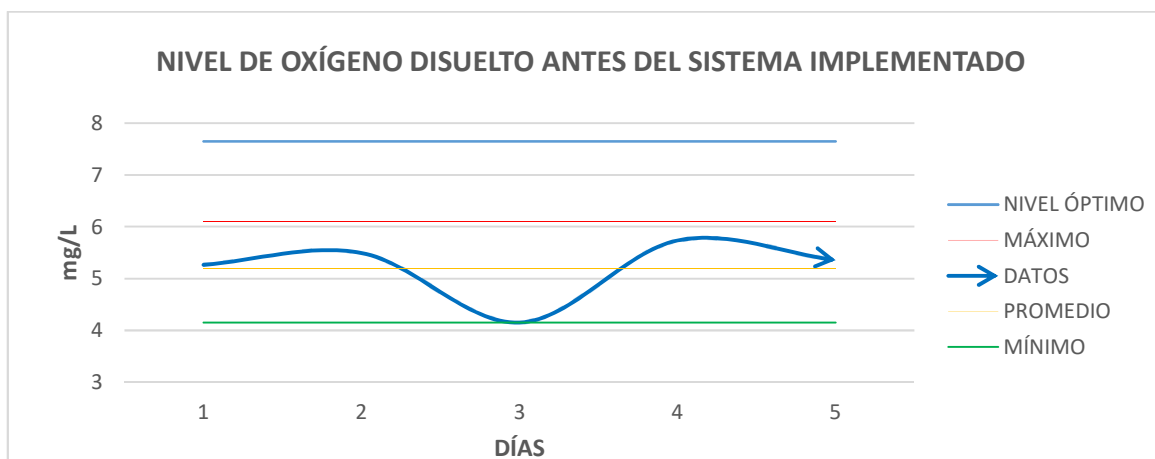


Gráfico 3-3: Variaciones del oxígeno disuelto antes de la implantación del sistema
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

3.4.2.2 Oxígeno disuelto después de la implementación del sistema

Conociendo que la cantidad de oxígeno disuelto no debe ser menor de 6.0 mg/L, y basándose en los resultados obtenidos según en la tabla 8-3, no existen pérdidas significativas de oxígeno en el estanque, teniendo como un máximo y un mínimo de 7.40 mg/L y 6.93 mg/L respectivamente lo que se garantiza la producción de oxígeno óptimo para la crianza de truchas.

Tabla 8-3: Lectura del oxígeno disuelto después de la implantación del sistema

Días	OXÍGENO DISUELTO						
	Muestro #1 (8 am)	Muestro #2 (10 am)	Muestro #3 (12 am)	Muestro #4 (14 pm)	Muestro #5 (16 pm)	Muestro #6 (18 pm)	Promedio.
1	7,82	7,74	6,89	6,45	6,98	7,72	7,27
2	7,78	7,63	6,42	6,51	7,64	7,49	7,25
3	7,62	7,07	6,23	6,21	7,1	7,68	7,14
4	7,61	7,01	6,64	6,49	7,69	7,58	7,17
5	7,61	7,62	6,62	6,72	7,65	7,34	7,37
Máximo.	7,82	7,74	6,89	6,51	7,69	7,72	7,40
Mínimo.	7,61	7,01	6,42	6,21	6,98	7,34	6,93
Promedio	7,69	7,41	6,64	6,42	7,41	7,56	7,19

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El gráfico 4-3 muestra la variación de oxígeno disuelto en el agua del estanque según las muestras tomadas en los 5 días después de la implementación.

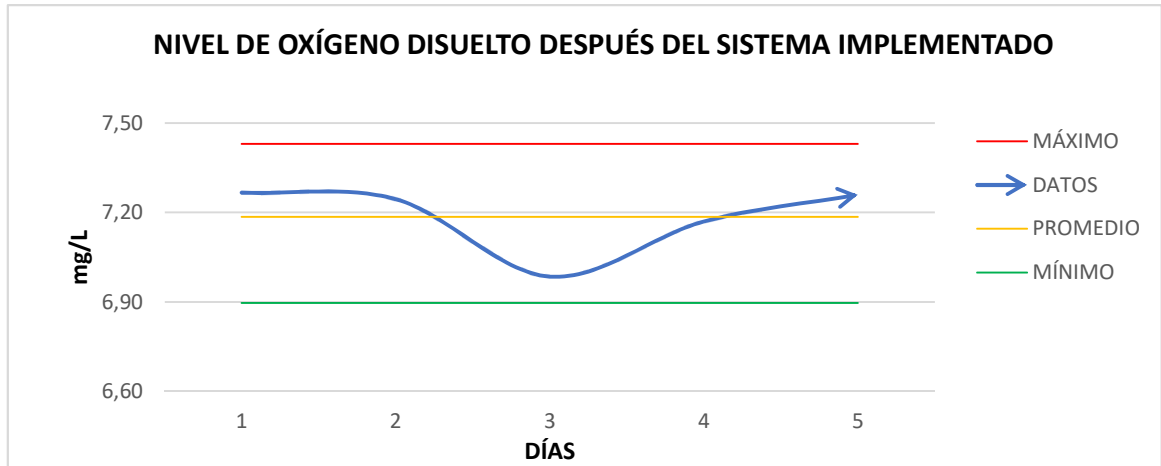


Gráfico 4-3: Variaciones del oxígeno disuelto después de la implantación del sistema
Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

3.4.2.3 Análisis de resultados del Oxígeno disuelto en el agua del estanque

Para el análisis de los resultados se realizó una prueba de hipótesis para medir el incremento de oxígeno disuelto en el estanque de truchas como se detalla a continuación:

Establecer Hipótesis: Planteamos la hipótesis nula y la alternativa:

H₀: La media de las medidas del oxígeno en mg/L después de implementar el proyecto es mayor a la media de las medidas del oxígeno en mg/L iniciales.

H_a: La media de las medidas del oxígeno en mg/L después de implementar el proyecto es igual o menor a la media de las medidas del oxígeno en mg/L iniciales.

De manera simbólica como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 1-3: Establecimiento Hipótesis incremento del oxígeno disuelto en el agua después de implementar el proyecto.

$$\mathbf{H_0:} \quad u_{T1} > u_{T2} \quad \text{y} \quad \mathbf{H_a:} \quad u_{T1} \leq u_{T2}$$

Dónde:

u_{T1}: es la media de las medidas del oxígeno en mg/L después de implementar el proyecto;

u_{T2}: es la media de las medidas del oxígeno en mg/L antes de implementar el proyecto.

Definición del nivel de significancia: Se tomó un nivel de significancia del 5%, es decir, $\alpha=0,05$.

Número de pruebas y cálculos estadísticos: El número de pruebas realizadas fue de 30, se trata de una prueba bilateral de la media.

Se utilizó el estadístico t de Student para la prueba de hipótesis como se muestra en la tabla 9-3 de los datos previamente al inicio y al final del proyecto.

Tabla 9-3: Resultados prueba de hipótesis para medir el incremento de oxígeno disuelto en el estanque de truchas

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	OD Final	OD Inicial
Media	7,18533333	5,20133333
Varianza	0,2905154	1,04796368
Observaciones	30	30
Coeficiente de correlación de Pearson	0,52174376	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	29	
Estadístico t	12,4428911	
P(T<=t) una cola	1,8687E-13	
Valor crítico de t (una cola)	1,69912703	
P(T<=t) dos colas	3,7375E-13	
Valor crítico de t (dos colas)	2,04522964	

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Decisión Estadística: La probabilidad a una cola es mayor que el nivel de significancia, por lo que no se rechaza la H_0 , es decir que la media de las medidas del oxígeno en mg/L después de implementar el proyecto es mayor a la media de las medidas del oxígeno en mg/L iniciales.

De la prueba de hipótesis mediante las medias encontradas, se infiere que existe un incremento de oxígeno disuelto en el agua, los resultados obtenidos son altamente significativos debido a que el valor a una cola es sumamente pequeño lo cual se dice que el sistema implementado tiene un 95% de confiabilidad al momento de mantener el oxígeno disuelto en el agua dentro de los rangos permitidos para una buena crianza de las truchas.

3.4.3 pH en el agua

3.4.3.1 pH en el agua antes de la implementación del sistema

El pH en el estanque presenta variaciones significativas, manteniéndose por debajo del valor mínimo permitido para la crianza y desarrollo de las truchas, que de 6.6 – 7.9. La tabla 10-3 muestra las lecturas del pH realizadas.

Tabla 10-3: Lectura del pH en el agua del estanque antes de la implementación del sistema

Días	pH						
	Muestreo #1 (8 am)	Muestreo #2 (10 am)	Muestreo #3 (12 am)	Muestreo #4 (14 pm)	Muestreo #5 (16 pm)	Muestreo #6 (18 pm)	Promedio.
1	5,63	5,42	4,97	5,03	5,38	6,52	5,49
2	5,58	5,63	5,1	5,97	6,64	5,49	5,74
3	5,62	5,63	5,97	5,12	6,61	6,6	5,93
4	5,61	5,59	5,92	6,03	5,69	5,58	5,74
5	5,02	5,62	5,62	5,99	5,65	6,43	5,72
Máximo.	5,63	5,63	5,97	6,03	6,64	6,6	6,08
Mínimo.	5,02	5,42	4,97	5,03	5,38	5,49	5,22
Promedio	5,49	5,58	5,52	5,63	5,99	6,12	5,72

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El gráfico 5-3 muestra la variación del pH en el agua del estanque según las muestras tomadas en los 5 días antes de la implementación.

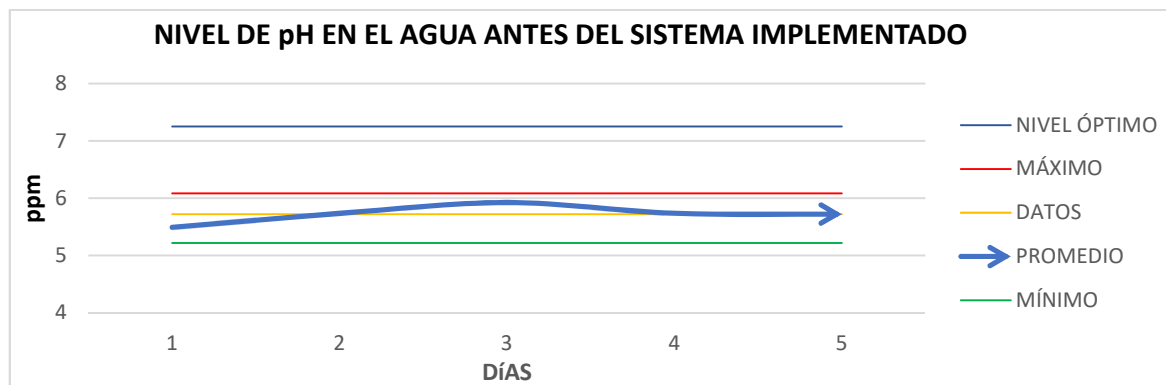


Gráfico 5-3: Variaciones del pH antes de la implementación del sistema

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

3.4.3.2 pH en el agua después de la implementación del sistema

El pH en el estanque no presenta variaciones significativas, manteniéndose por debajo del valor máximo permitido para la crianza y desarrollo de las truchas, que de 6.6 – 7.9. Es importante mencionar que la excesiva variación de este parámetro en el agua sería muy perjudicial en el cultivo, por ejemplo, con niveles inferiores a 6,5 pueden producir hemorragias en las branquias de las truchas y causar mortalidades a niveles elevadas. La tabla 11-3 muestra las mediciones realizadas de pH en los cinco días.

Tabla 11-3: Lectura del pH en el agua del estanque después de la implementación del sistema

Días.	pH						
	Muestreo #1 (8 am)	Muestreo #2 (10 am)	Muestreo #3 (12 am)	Muestreo #4 (14 pm)	Muestreo #5 (16 pm)	Muestreo #6 (18 pm)	Promedio.
1	7,63	7,42	6,97	7,03	7,38	7,52	7,33
2	7,58	7,63	7,1	6,97	7,64	7,49	7,40
3	7,62	7,63	6,97	7,12	7,61	7,6	7,43
4	7,61	7,59	6,92	7,03	7,69	7,58	7,40
5	7,02	7,62	7,62	6,99	7,65	7,43	7,39
Máximo.	7,63	7,63	7,62	7,12	7,69	7,6	7,55
Mínimo.	7,02	7,42	6,92	6,97	7,38	7,43	7,19
Promedio	7,49	7,58	7,12	7,03	7,59	7,52	7,39

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El gráfico 6-3 muestra la variación del pH en el agua del estanque según las muestras tomadas en los 5 días después de la implementación.

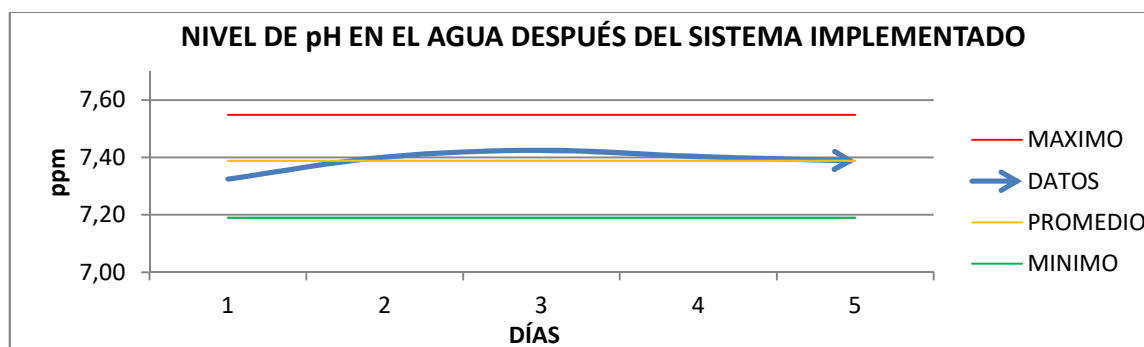


Gráfico 6-3: Variaciones del pH después de la implementación del sistema

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

3.4.3.3 Análisis de resultados del pH en el agua del estanque

Para el análisis de los resultados se realizó una prueba de hipótesis para medir el incremento del pH en el agua del estanque de truchas como se detalla a continuación:

Establecer Hipótesis: Planteamos la hipótesis nula y la alternativa:

H₀: La media de las medidas del pH en ppm después de implementar el proyecto es mayor a la media de las medidas del pH en ppm inicial.

H_a: La media de las medidas del pH en ppm después de implementar el proyecto es igual o menor a la media de las medidas del pH en ppm iniciales.

De manera simbólica como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 2-3: Establecimiento Hipótesis incremento del pH en el agua después de implementar el proyecto.

$$H_0: u_{T1} > u_{T2} \quad y \quad H_a: u_{T1} \leq u_{T2}$$

Dónde:

u_{T1}: es la media de las medidas del pH en ppm después de implementar el proyecto;

u_{T2}: es la media de las medidas del pH en ppm antes de implementar el proyecto.

Definición del nivel de significancia: Se tomó un nivel de significancia del 5%, es decir, $\alpha=0,05$.

Número de pruebas y cálculos estadísticos: El número de pruebas realizadas fue de 30, se trata de una prueba bilateral de la media.

Se utilizó el estadístico t de Student para la prueba de hipótesis como se muestra en la tabla 12-3 de los datos previamente al inicio y al final del proyecto.

Tabla 12-3: Resultados prueba de hipótesis para medir el incremento de pH disuelto en el estanque de truchas.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	pH Inicial	pH Final
Media	5,722	7,38866667
Varianza	0,225885517	0,07921885
Observaciones	30	30
Coeficiente de correlación de Pearson	0,281151814	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	29	
Estadístico t	-19,03943276	
P(T<=t) una cola	3,1026E-18	
Valor crítico de t (una cola)	1,699127027	
P(T<=t) dos colas	6,2052E-18	
Valor crítico de t (dos colas)	2,045229642	

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

Decisión Estadística: La probabilidad a una cola es mayor que el nivel de significancia, por lo que no se rechaza la H_0 , es decir que la media de las medidas del pH en ppm después de implementar el proyecto es mayor a la media de las medidas del oxígeno en ppm iniciales.

De la prueba de hipótesis mediante las medias encontradas, se infiere que existe un incremento de pH en el agua, los resultados obtenidos son altamente significativos debido a que el valor a una cola es sumamente pequeño lo cual se dice que el sistema implementado tiene un 95% de confiabilidad al momento de mantener el pH en el agua dentro de los rangos permitidos para una buena crianza de las truchas.

3.5 Análisis Técnico Económico del Proyecto

El objetivo es determinar la factibilidad del proyecto con la implementación del sistema de bombeo automatizado por generación fotovoltaica con respecto al sistema tradicional de bombeo por combustible.

3.5.1 Determinación de los costos de implementación fotovoltaico

Dentro de los costos de implementación por sistema de generación fotovoltaico se consideró, el costo de adquisición de equipo, el costo de la estructura y el costo por cableado. En la tabla 13-3 se muestra los costos de cada equipo.

Tabla 13-3: Costo total para le implementación del sistema

DETALLES	CANTIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
Paneles	8	150	1200
Inversor	1	1600	1600
Variador de frecuencia	1	510	510
HMI	1	90	90
Arduino PLC	1	51.89	51.89
Sensor de caudal	1	29.26	29.26
Sensor de presión	1	41.90	41.90
Sensor de oxígeno	1	50	50
Motor Trifásico	1	150	150
Bomba Leo	1	200	200
Relés Auxiliares DC 12 V	4	7	28
Breakers 2 polos	1	8.55	8.55
Breaker DC 10A	1	17	17
Temporizador digital	3	20	60
Contactador	2	30	60
Transformador fuente 12 V	1	22	22
Indicadores de luz	5	4	20
Selector	1	5	5
Pulsadores	2	5	10
Caja metálica	1	18	18
Costo Cable			50
Tuberías			40
Costo por Estructura			400
Total			4 530,00

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El costo de implementación es de \$ 4,530.00 dólares, lo que permite establecer el tiempo que debe transcurrir para recuperar la inversión inicial en comparación al sistema de bombeo tradicional.

3.5.2 *Determinación de costos por sistema tradicional*

En la tabla 14-3 se determina los costos del sistema de bombeo por combustible mensual.

Tabla 143: Costos generales sistema tradicional mensual.

DETALLES	CANTIDAD	PRECIO UNI.	TOTAL
Trabajador	1	365	365
Diésel	155 (galones/día)	1.03	159.65
Total			524.65

Realizado por: Alex Lema & Fabián Padilla, 2017

El costo del sistema de bombeo para los estanques tradicional generado mensualmente es de \$ 524.65, en el año \$ **6,2295.80** dólares.

3.5.3 *Análisis del costo-beneficio obtenido con el nuevo sistema.*

Basado en la determinación del costo de inversión del nuevo sistema respecto al costo anual que generan los sistemas tradicionales, se puede observar que a pesar de tener una fuerte inversión al comienzo esta se puede recuperar tranquilamente en unos dos años teniendo dentro de este lapso de tiempo ganancias debido a que los estanques contarán con un control automático para la crianza de las truchas y ya no se tendrán pérdidas por muerte debido a la falta de oxígeno disuelto en el agua.

CONCLUSIONES

- Con la implementación del sistema se tiene un 95% de confiabilidad al momento de mantener tanto el oxígeno disuelto en el agua como el pH dentro de los rangos permitidos para una buena crianza de las truchas.
- Con el uso de la energía fotovoltaica como una opción para generar fuente de energía se logró eliminar el CO₂ en un 100% de forma que se contribuye a la no contaminación e impacto ambiental.
- El sistema de bombeo suministra la cantidad de caudal necesario para disolver el oxígeno de una manera proporcional en el estanque que garantiza la producción de la piscicultura.
- Para sistemas de bombeo es recomendable usar motores trifásicos por el consumo de energía menor en un 60% con respecto a los motores monofásicos.
- Con respecto a los beneficios que presenta el proyecto es que hay la posibilidad de garantizar al piscicultor un cultivo del 97 %, habiendo una pérdida del 3 % con respecto al 20% de las pérdidas obtenidas con el sistema de bombeo tradicional.
- El proyecto implementado puede ser considerado como una iniciativa para los demás piscicultores de la zona, debido a que la inversión para este sistema se la puede recuperar en un tiempo no mayor a los dos años.

RECOMENDACIONES

- Al momento de seleccionar los paneles solares se recomienda los de tipo mono cristalino por la mayor tasa de eficiencia y condiciones de rendimiento con respecto a las demás y su vida útil es de 25 años.
- Utilización de bombas de alto rendimiento para estanque de gran capacidad que permita generar grandes cantidades de oxígeno disuelto en el estanque.
- Para obtener una mayor cantidad de radiación solar durante el día se debe posicionar los cuatro paneles y orientarlos hacia el este y los otros cuatro paneles hacia el oeste.
- Realizar el mantenimiento preventivo del módulo fotovoltaico, con la limpieza de los paneles solares dos veces por semana o dependiendo de los factores atmosféricos y ambientales que ensucien y bajen el rendimiento.
- Antes de realizar cualquier operación, revisión o mantenimiento del sistema de bombeo se recomienda revisar el manual de usuario, donde se detalla el funcionamiento de cada uno de los elementos instalados.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CONELEC.** *Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.* QUITO : CIE, 2008.
2. **CORDOBA NIETO, ERNESTO.** *Manufactura y automatización.* Ingeniería e Investigación. [Consulta: 2015-12-18]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092006000300014&script=sci_arttext.
3. **Daneri, Pablo A.** *PLC Automatización y control industrial.* Buenos Aires-Argentina : Hispano Americana S.A., 2008.
4. **Enérgia, Centro de Investigación en.** *Enérgia Renovables .* México : s.n., 2010.
5. **CASTEJÓN OLIVA AGUSTIN,** *Instalaciones solares fotovoltaicas,* España, Edinex S.A, 2010.
6. **FERNÁNDEZ JOSÉ,** *Guía practica de la energia solar fotovoltaica y termoeléctrica.* Madrid : A. Madrid Vicente, 2008.
7. **MAZA CABELLO, Ana Cristina.** *Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío* [En línea] (Tesis) (Pregrado) *Universidad de las Américas Puebla. México.* 2009. [Citado el: 20 de Enero de 2016.] http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf.
8. **VELÁSQUEZ, José Antonio.** *Tecnologías para la Automatización Industrial.* [En línea] (Tesis) (Pregrado) *Universidad Ricardo Palma.* [Consulta: 2016-01-19] Disponible en:[http://www.urp.edu.pe/labcim/portal/imagenes/articulo_URP\[1\].pdf](http://www.urp.edu.pe/labcim/portal/imagenes/articulo_URP[1].pdf).

ANEXOS

Anexo A: Vista general del sistema de control y mando



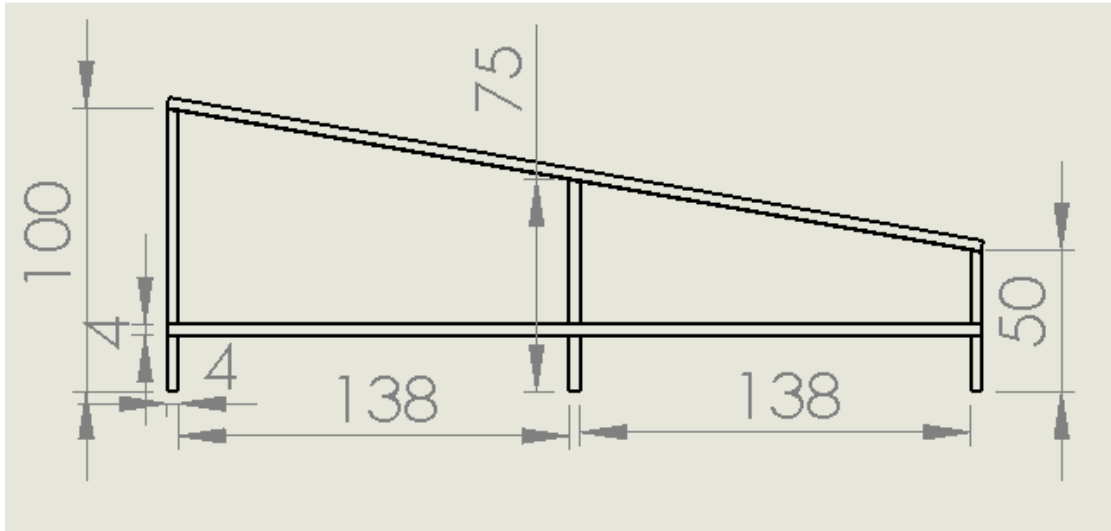
Anexo B: Vista frontal de la estructura de soporte para los paneles



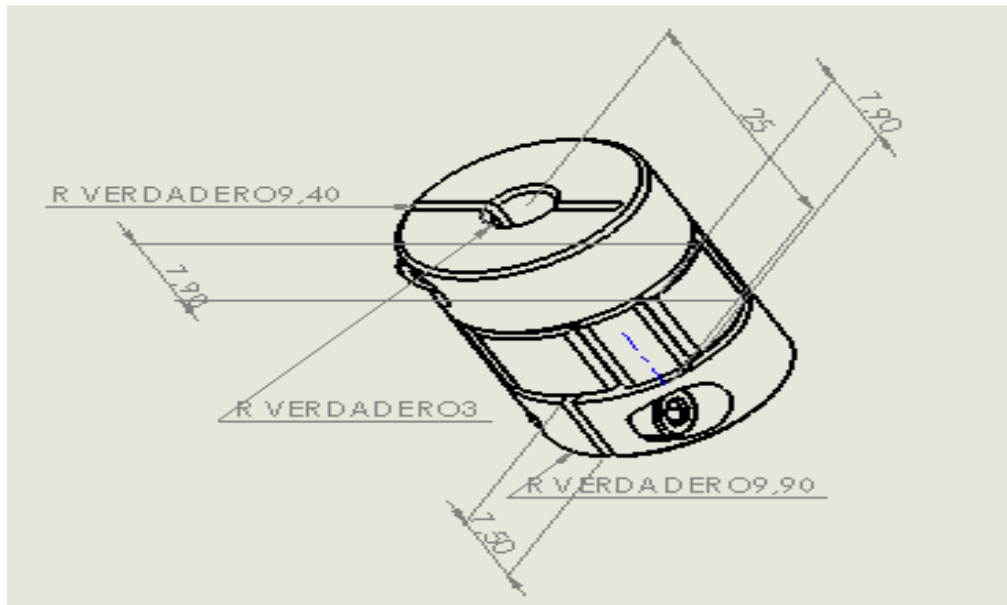
Anexo C: Vista isométrica del Sistema de bombeo



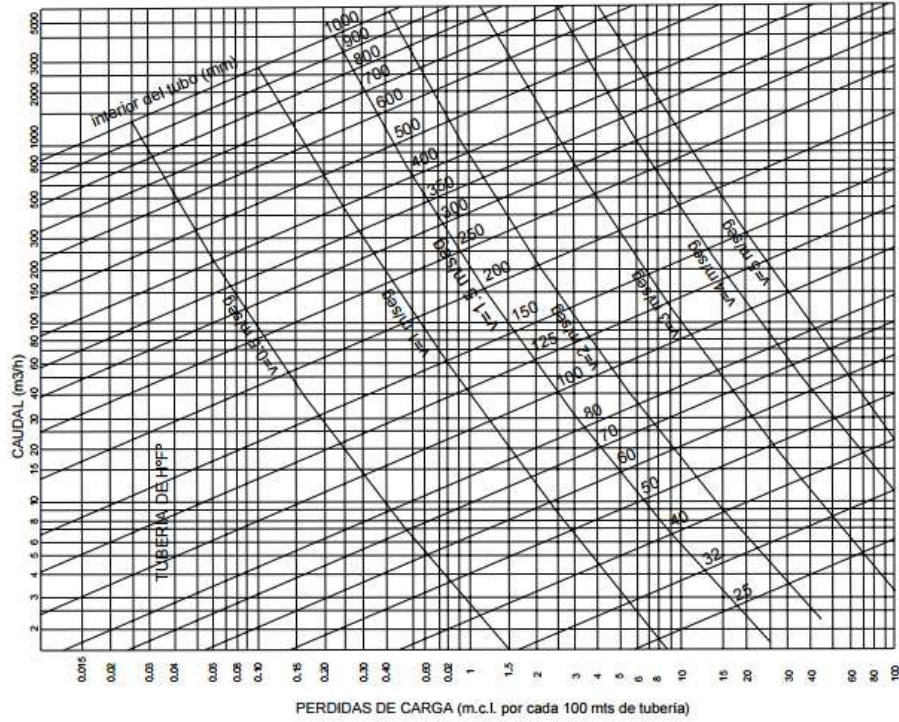
Anexo D: Vista lateral de la estructura de soporte para los paneles



Anexo E: Dimensiones del acoplé de mandíbula L700



Anexo F: Tabla para el cálculo de pérdidas de carga en las tuberías



Anexo G: Tabla de valores de pérdidas de carga en accesorios

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Curva 90°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,2	1,8	2	3	5	5	6	7	8	14	16
Codo 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5	2,7	4	5,5	7	8,5	9,5	11	19	22
Cono difusor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	45	55	60	75	90	100
Válvula de retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	50	60	75	85
V. Compuerta Abierta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	2	2,5	3	3,5	4	5
V. Compuerta 3/4 Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	10	12	14	16	20
V. Compuerta 1/2 Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	75	90	105	120	150

Anexo H: Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos KOBREX

Calibre	Área sección transversal	Número de alambres	Diámetro nominal conductor	Espesor del aislamiento nominal	Diámetro total aproximado	Peso teórico	Resistencia eléctrica CD a 20°C (1)	Ampacidad al aire libre a 30°C (2) amperes		
								60°C	75°C	90°C
AWG 16	1,31	1	1,29	0,76	2,81	1,9	13,20	-	-	18
14	2,08	1	1,63	0,76	3,15	2,7	8,28	20	20	25
12	3,31	1	2,05	0,76	3,57	3,9	5,21	25	25	30
10	5,26	1	2,59	0,76	4,11	5,8	3,28	30	35	40
8	8,37	1	3,26	1,14	5,54	9,8	2,06	40	50	55
6	13,3	1	4,12	1,52	7,16	15,8	1,30	55	65	75

Anexo I: Tabla de pérdidas de carga (Tuberías de PVC/Polietileno)

INFORMACIÓN TÉCNICA

Tabla de pérdidas de carga (Tuberías de PVC / Polietileno)

Por rozamiento del agua en las tuberías, expresada en metros por cada 100 m de tubería recta.

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
Metros de columna de agua por 100 m de recorrido recto												
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1000	29,8	7	1,9	0,6								
1500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2000		23,5	6,4	2	0,9							
2500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4500				8,2	3,6	1	0,3	0,1				
5000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6500				15,5	6,9	1,9	0,6	0,3				
7000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2		
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30000							9	4	1,8	1	0,3	9,1
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4
60000								13,3	5,9	3,4	1,2	0,5
70000									7,7	4,4	1,5	0,6
80000									10,4	5,6	1,9	0,8
90000									12,9	7,3	2,4	1
100000										8,9	2,9	1,2
125000											4,5	1,8
150000											6,3	2,6
175000											8,4	3,5
200000											10,7	4,4
250000												6,7
300000												9,3

Para otras tuberías recomendamos multiplicar los valores obtenidos en la tabla por los siguientes coeficientes:
 Tuberías de fibrocemento: 1,2
 Tuberías de hierro galvanizado: 1,5